

# **FSR-tyyppisten kosketusanturien integrointi tekstiiliin**

Henri Thitz

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2015

Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma  
Tekniikan ja liikenteen ala





Tekijä(t) Thitz, Henri	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 26.5.2015
	Sivumäärä 42	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>FSR-tyyppisten kosketusanturien integrointi tekstiiliin</b>		
Koulutusohjelma Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Markku Ström		
Toimeksiantaja(t) JAMK Generator		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön aiheena oli kosketusantureina toimivien, FSR-tyyppisten (force sensing resistor) paineanturien integroiminen tekstiiliin. Opinnäytetyö oli osa tuotekehitysprojektia, jonka tilaajana toimi JAMK Generator. JAMK Generatorilta työryhmä sai apua tuotekehityksessä sekä etenkin liike-idean kehittämisessä. Tuotekehitysprojektin tehtävänä oli suunnitella etenkin juniorijalkapalloilijoille suunnattu ”älyasukka”.</p> <p>Älyasukka havainnoi pelaajan pallon kosketuksia ja erottaa oikean ja vasemman jalan kosketukset toisistaan. Älyasukka myös havainnoi, mihin kohtaan jalkaa pallon kosketus tapahtuu: sisäsyrylle, ulkosyrylle vai jalkapöydälle. Lisäksi sukalla on mahdollista havaita käyttäjän ottamat askeleet suoritteen aikana. Pallon kosketusten havainnointia hyödynnetään pallokontrollin parantamisessa, harjoitusmäärän seurannassa, sekä oikean ja vasemman jalan käytön seurannassa. Sukan havainnoima data lähetetään mikrokontrollerin avulla langattomasti mobiili-sovellukseen. Pallon kosketusten havainnointi toteutettiin integroimalla FSR-tyyppisiä kosketusantureita sukan tekstiiliin.</p> <p>Raportin tietoperustassa esitetään katsaus puettavaan teknologiaan sekä FSR-antureiden toimintaperiaatteeseen, ominaisuuksiin ja tyyppillisen kaupallisen FSR-anturin rakenteeseen. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia mahdollisuuksia integroida ergonomisesti ja huomattomasti erilaisia FSR-anturirakenteita tekstiiliin. Opinnäytetyön tuloksena saaduista eri anturivaihtoehdoista valittiin vaatimusmäärittelyn pohjalta kaksi anturiratkaisua, jotka soveltuvat tekstiili-integraatioon.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) FSR-paineanturit, tekstiilianturit, puettava teknologia		
Muut tiedot		



Author(s) Thitz, Henri	Type of publication Bachelor's thesis	Date 26.5.2015
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 42	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Textile integration of FSR-pressure sensors</b>		
Degree programme Wellness technology		
Tutor(s) Markku Ström		
Assigned by JAMK Generator		
<p>Abstract</p> <p>The goal of the bachelor's thesis was to design and develop the structure of a FSR-sensor (force sensing resistor) that is possible to integrate ergonomically into a textile. The bachelor's thesis was part of a product development project assigned by JAMK Generator. JAMK Generator supported the project group on improving business idea product development.</p> <p>The goal of the whole product development project was to develop a smart sock that is able to detect ball contacts made by a football. Smart socks are used as motivational equipment for young football players. They are also used to increase the user's ball handling skills. Smart socks provide information about the total amount of ball contact made during the practice and also tell the user how much he/she uses right and left foot. The information from a smart sock is transferred into a mobile phone application via Bluetooth.</p> <p>The smart socks are also able to detect which part of the foot makes the ball contact: inside of the foot, outside of the foot or the instep. The Socks can also detect foot-steps, which is useful information about the total amount of exercise. Detection of steps and ball contacts is implemented with four textile integrated FSR-pressure sensors.</p> <p>The theory part of thesis deals with wearable technology in general. The theory part also describes the structures and features of commercial FSR-pressure sensors.</p> <p>As a result of the thesis, two different possible FSR-sensor structures that are suitable for textile integration were chosen to use.</p>		
Keywords/tags ( <a href="#">subjects</a> ) FSR-pressure sensors, textile sensors, wearable technology		
Miscellaneous		



## Sisältö

<b>1 Johdanto .....</b>	<b>3</b>
1.1 Opinnäytetyön tausta .....	3
1.2 Opinnäytetyön tehtävät ja tavoitteet .....	5
<b>2 Puettava teknologia .....</b>	<b>6</b>
2.1 Puettavan teknologian historiaa ja nykytila .....	6
2.2 Puettavan teknologian mahdollisuudet .....	7
2.3 Esimerkkejä paineanturien tekstiili-integraatiosta .....	8
<b>3 Älysukan käyttökohteen asettamat vaatimukset .....</b>	<b>10</b>
3.1 Vaatimusmäärittelyn lähtökohdat .....	10
3.2 Ergonomia .....	11
3.3 Kestävyys ja toimintavarmuus .....	12
3.4 Muut yleiset ominaisuudet .....	12
<b>4 FSR-paineanturit ja FSR-materiaali .....</b>	<b>13</b>
4.1 FSR-paineanturit .....	13
4.2 FSR-materiaalit .....	16
4.3 Velostatin konepestävyyden teoreettinen arviointi .....	17
4.4 Tyypilliset kaupalliset FSR-anturit .....	18
<b>5 Erilaisten FSR-anturirakenteiden ideointi .....</b>	<b>19</b>
5.1 Lähtökohdat ja strategia sopivan anturirakenteen selvittämiseksi .....	19
5.2 "Hampurilaisrakenne" .....	20
5.3 Rinnakkaisrakenne .....	22
5.4 Kaapeli- ja nauharakenne .....	28
5.5 Eri ratkaisujen soveltuvuuden arviointi .....	32
<b>6 Yhteenveto ja pohdinta .....</b>	<b>35</b>
6.1 Tavoitteiden saavuttaminen .....	35
6.2 Pohdinta opinnäytetyöprosessista .....	37
<b>Lähteet .....</b>	<b>38</b>
<b>Liitteet .....</b>	<b>41</b>
Liite 1. Velostat-materiaalin konepesun empiirinen arviointi .....	41



## Kuvioluettelo

Kuvio 1. Älysukkakonseptin toimintamalli .....	4
Kuvio 2. Älysukkaidean testausta .....	5
Kuvio 3. Sensoria fitnesssukat .....	9
Kuvio 4. Havainnollistava kuva anturien sijoittumisesta ja koosta älysukassa .....	11
Kuvio 5. Resistanssin suhde FSR-anturiin kohdistettuun voimaan .....	14
Kuvio 6. FSR-anturin kytkeminen mikrokontrolleriin .....	15
Kuvio 7. Jännitteenjakajan vaikutus mikrokontrollerin sisääntuloon menevään jännitteeseen .....	16
Kuvio 8. FSR-materiaalin toimintaperiaate .....	17
Kuvio 9. Tyypillinen kaupallisen FSR-anturin rakenne .....	19
Kuvio 10. Hampurilaisrakenne ylhäältä ja sivulta päin kuvattuna .....	20
Kuvio 11. Sähköä johtavalla langalla toteutettu hampurilaisrakenne .....	22
Kuvio 12. Yksinkertainen rinnakkaisrakenne .....	23
Kuvio 13. Yksinkertainen rinnakkaisrakenne, kaistalemalli .....	23
Kuvio 14. Rinnakkaisrakenteen elektrodit ilman FSR-materiaalia (A) ja FSR-materiaalin kanssa (B) .....	24
Kuvio 15. Rinnakkaisrakenne FSR-materiaalikaistaleilla .....	25
Kuvio 16. Havainnollistava kuva ommelanturin rakenteesta .....	27
Kuvio 17. Ommelanturin yksittäinen FSR-kaistale (A) ja sen potentiaaliset rikkoontumiskohdat (B) .....	28
Kuvio 18. Kaapelianturin kattama pinta-ala .....	29
Kuvio 19. Erilaisia kaapelianturirakenteita .....	30
Kuvio 20. Nauha-anturimalli .....	31

## Taulukot

Taulukko 1. Anturi-ratkaisulta vaadittujen ominaisuuksien tärkeyksien arviointi .....	32
Taulukko 2. FSR-anturiratkaisujen vertailu .....	34

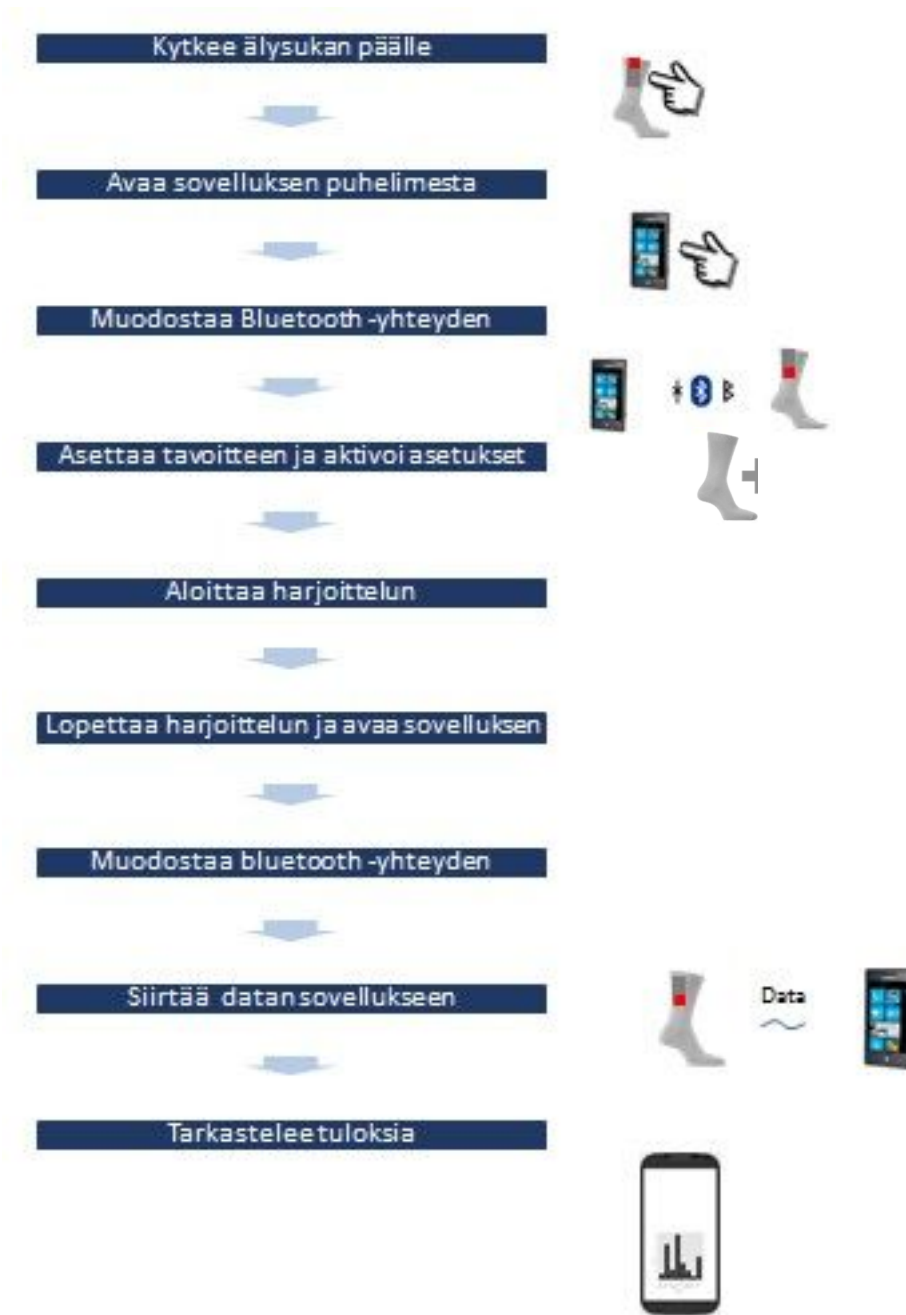
# 1 Johdanto

## 1.1 Opinnäytetyön tausta

Nykyinen teknologian kehitys on johtanut etenkin elektroniikan fyysisen koon pienenemiseen ja monipuolistumiseen. Tämän teknologiakehityksen imussa on kehittynyt paljon uusia tuotteita, toisaalta uusien tuotteiden kehitys ja teknologiakehitys voidaan nähdä toisiaan ruokkivina. Nousevana trendinä 2000-luvulla on etenkin erilaisiin älyvaatteisiin liittyvä tuotekehitys ja tutkimus.

Opinnäytetyö oli osa kolmen hyvinvointiteknologian opiskelijan muodostaman projektiryhmämme tekemää tuotekehitysprojektia, jossa oli tarkoituksena kehittää ”älysukka”, joka olisi suunnattu juniorijalkapalloilijoille pallon kosketuksien määrän seurantaan sekä päivittäisen harjoittelun motivointiin. Älysukkakonsepti koostuu jalkapallosukkiin integroiduista paineantureista, pohjepuolelle sukan yläosaan kiinnitettävästä elektroniikkaosiesta, joka sisältää jännitteenjakajan, mikrokontrollerin (Blueduino), akun, latauspiirin sekä Bluetooth-lähettimen. Elektroniikkaosion sisältämä mikrokontrolleri käsittelee antureilta saadun datan ja lähettää sen Bluetooth-yhteyden kautta käyttäjän käyttämään mobiilisovellukseen. Tuotteen toimintasykli on esitelty kuviossa 1.

Tässä opinnäytetyössä pyritään selvittämään erilaisia mahdollisuuksia integroida kosketusantureina toimivia FSR-tyyppisiä paineantureita (force sensing resistor) sekä johdinmateriaalia tekstiiliin. Lisäksi teoriaosiossa otetaan katsaus puettavaan teknologiaan ja sen nykyiseen asemaan asusteiden ja älylaitteiden markkinoilla. Lisäksi teoriaosuudessa perehdytään FSR-anturien ja materiaalien ominaisuuksiin sekä toimintaperiaatteisiin.



Kuvio 1. Älysukkakonseptin toimintamalli

Sukkaan sijoitetaan yhteensä neljä eri anturia. Anturit sijoitetaan jalkapöydän päälle sekä jalkaterän sisä- ja ulkosyrjään. Neljäs anturi, joka toimii askelmittarina, on sijoitettu jalkapohjaan päkiän alle. Älysukkaidean toimivuutta testattiin teippaamalla pieniä FSR-antureita sukan päälle (ks. kuvio 2).



Kuvio 2. Älysukkaidean testausta

Pallon kosketuksesta sukkaan kohdistuvan voiman tarkka määrittäminen ei ole tässä sovelluksessa tarpeellista, joten anturin tarkkuudeksi riittää se, että sillä pystytään erottamaan pallokosketus ympäristön ja jalkaterän liikkeiden aiheuttamista häiriöistä.

## 1.2 Opinnäytetyön tehtävät ja tavoitteet

Opinnäytetyössä pyrittiin keskittymään nimenomaan FSR-tyyppisten paineanturien ja johtimien integroimiseen tekstiiliin. Anturityypin rajausta FSR-antureihin johtui siitä, että projektiryhmällä jo olemassa oleva teknologia (elektroniikka sekä datankäsittely-software) oli suunniteltu toimimaan FSR-anturien kanssa. Ratkaisua haettiin keskittymällä olemassa oleviin tekniisiin ratkaisuihin sekä hyödyntämällä omia ideoita FSR-anturin integroimiseksi tekstiiliin.

Opinnäytetyön edetessä havaittiin, että olemassa olevat FSR-anturin tekstiili-integraatiot rajoittuivat lähinnä erilaisiin tee-se-itse-kangasantureihin. Siten



suureksi osaksi työtä rajautuikin vaatimusmäärittelyn mukaisen FSR-paineanturin toteutustavan sekä rakenteen suunnittelu.

Älysukkakonseptin tiimoilta aloitettiin myös kaksi muuta opinnäytetyötä. Kyseessä olevien opinnäytetyön alustavat aiheet tarkastelivat käyttäjäystävällisen mobiilisovelluksen käyttöliittymän suunnittelua sekä datan käsittelyä ja Bluethooth-yhteyttä mobiililaitteen ja älysukan välillä.

## **2 Puettava teknologia**

### **2.1 Puettavan teknologian historiaa ja nykytila**

Puettavalla teknologialla tarkoitetaan elektroniikkaa tai muuta teknologiaa sisältäviä tekstiilejä, jotka keräävät informaatiota ympäristöstään ja toimivat sen mukaisesti (Heinola 2007). Toisaalta laajimmassa merkityksessään puettava teknologia voisi kuitenkin tarkoittaa esimerkiksi taskussa olevaa multimedialaitetta, kuten älypuhelinta.

Ensikosketus puettavaan teknologiaan saatiin jo vuonna 1961, kun todennäköisyyslaskentaan perehtyneet amerikkalaiset matemaatikot Edward Thorp sekä Claude Shannon kehittivät vaatetukseen kätkevän tietokoneen ennustamaan pallon käyttäytymistä ruletissa (Malmivaara 2009). Ideana laitteessa oli kellottaa pallon kierrosaikoja ruletissa ja tämän pohjalta arvioida, mihin kohdalle rulettipyörää pallo pysähtyisi. Laite sisälsi vyötärölle tulevan elektroniikan, varpaalla käytettävän painikkeen sekä korvaan tulevan kaiuttimen, joka kertoi pelaajalle todennäköisen voittosektorin, johon pallo tulisi pysähtymään. (Melanson 2013)

Puettava teknologia on kulkenut pitkän matkan siitä, mitä se alussa oli. Idea puettavaan teknologiaan tuli, kun ”teknologiafriikit” halusivat kuljettaa tietokoneita mukanaan koko ajan. Periaatteessa vaatetta voidaan pitää puettavana teknologiana, jos siinä on erityisesti teknologialle räätälöity tasku

tai erikseen leikattu kanava, josta esimerkiksi kuulokkeiden johto voidaan syöttää läpi. Nykyään puettava teknologia tarkoittaa kuitenkin nimenomaan pukimiin kokonaan tai osittain integroitua elektroniikkaa. Pukimiin luetaan vaatteiden lisäksi kellot, korut, reput ja laukut.

Ruumiin eri toimintoja mittaava puettava teknologia keskittyy tällä hetkellä suurimmaksi osaksi lihasaktiivisuuden ja sykkeen seurantaan elektromyografian ja elektrokardiografian avulla (Karvonen 2005). Muita kehon biomekaanisia tekijöitä (esimerkiksi kehon liikettä ja tuotettua voimaa) mitataan tyypillisesti voima-, paine- sekä etenkin kiihtyvyyssantureiden avulla.

## **2.2 Puettavan teknologian mahdollisuudet**

Puettava teknologia tarjoaa tulevaisuudessa entistä enemmän uusia mahdollisuuksia. Ruumiin eri fysiologisia toimintoja, esimerkiksi sykettä tai happisaturaatiota, mittaavia älyvaatteita voidaan hyödyntää esimerkiksi sotilaskäytössä tai pelastuslaitoksilla, joissa on tarpeen tarkastella yksittäisen henkilön ruumiintoimintoja suorituksen aikana.

Puettavan teknologian yksi tärkeimmistä ja kaupallisesti potentiaalisimmista sovelluskohteista on työturvallisuuden parantaminen. Puettava teknologia voi parantaa etenkin palomiesten, sotilaiden ja muiden haastavissa olosuhteissa työskentelevien ammattilaisten työturvallisuutta. Näissä tapauksissa puettavan teknologian hyöty saataisiin esimerkiksi fysiologisten toimintojen reaaliaikaisesta seurannasta sekä henkilön paikannuksesta gps-järjestelmän avulla. Olemassa olevia sovelluksia vastaavanlaisista älyvaatteista ovat esimerkiksi erilaisiin harrastekäyttöihin tarkoitettut gps:n avulla paikantava liivi sekä kehon nestemäärää mittaava puku (Karvonen 2006).

Kuluttajapuolella suurimmat älyvaatemarkkinat ovat todennäköisesti kuntoilupuolella, sillä älyvaatteilla voidaan sykkeen lisäksi seurata biomekaanisia toimintoja. ”Biofeedbackillä” onkin todettu olevan

urheilusuoritusten kehittymistä parantava vaikutus (Maman, Kanupriya & Jaspal 2012).

## **2.3 Esimerkkejä paineanturien tekstiili-integraatiosta**

Yksi parhaiten opinnäytetyön aiheena olevaa tuotetta vastaava tuote on Sensoria fitnesssukat, jotka analysoivat askellusta sukkiin pohjaan kiinnitettyjen kangasanturien avulla (ks. kuvio 3). Antureiden avulla tutkitaan valmistajan mukaan askellustyyppiä (päkiä vai kanta-askel), jalkojen kontaktiaikoja maahan sekä paljon muuta. Sensorian tuotteessa anturi ja johtimet on toteutettu integroimalla sähköä johtavia kuituja kankaaseen. Tarkempaa anturin toimintaperiaatetta ei kuitenkaan paljasteta valmistajan sivuilla eikä antureita koskevassa patenttihakemuksessa (WO2013116242 A3, 2014). Tuote sisältää myös magneettien avulla nilkkaan kiinnitettävän, kiihtyvyyssanturin sekä muun elektroniikan sisältävän, nilkkapannan. Nilkkapanta lähettää sukan keräämään datan mobiilisovellukseen. (Sensoria n.d.)

Sensorian käyttämä elektroniikan kiinnityksiperiaate ja laturi ovat patentoituja (USD711269 S1, 2014). Käytetyille antureille, datankeräyksen ja langattoman monitoroinnin sisältävälle systeemille on jätetty patenttihakemus (WO2013116242 A3, 2014). Kuitenkin koska kyseessä on vasta patenttihakemus, lopullisen mahdollisen patentin sisältöä on vielä vaikea arvioida.



Kuvio 3. Sensoria fitnesssukat (Sensoria n.d.)

Mielenkiintoinen anturiratkaisu voisi myös olla lontoolaisessa Royal College of Art -yliopistossa kehitetty ”kudelma-anturi”. Kudelma-anturit on valmistettu sähköä johtavasta langasta ”smart-yarnista”, jonka resistanssin vaihtelu johtuu langan sisäisten metallikuitujen limittäisyyden muuttumisesta langan venyessä. (Stinson 2014)

Brittiäinen Intelligent Textiles on kehittänyt (ja patentoinut) kankaan, joka kykenee havaitsemaan siihen kohdistuvan paineen. Kangasanturin toimintaperiaate perustuu tekstiilin kudoksessa olevien johtavien lankamateriaalien keskinäiseen kontaktiin (US7365031 (B2), 2008). Intelligent Textiles hyödyntää kangasanturiaan sekä muita tekstiili-innovaatioitaan esimerkiksi puettavissa musiikkisoittimissa, lääkinnällisissä tarkoituksissa sekä sotilaskäytössä (Digitize Your World: Look Smart in Intelligent Textiles. n.d.).

### 3 Älysukan käyttökohteen asettamat vaatimukset

#### 3.1 Vaatimusmäärittelyn lähtökohdat

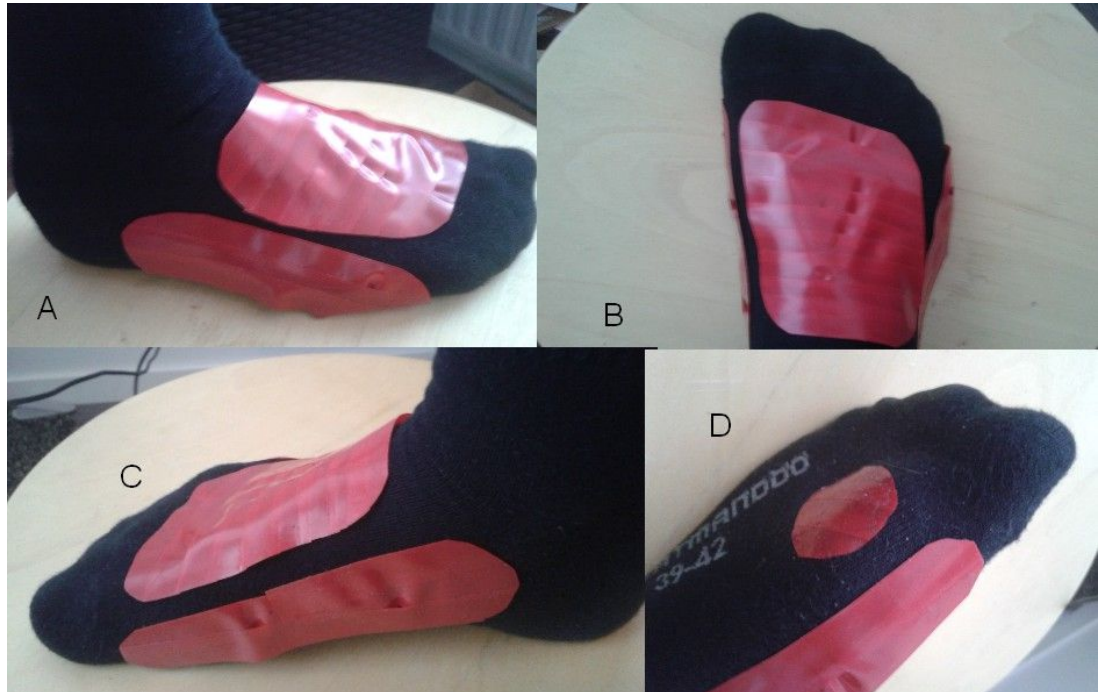
Teknologian integroiminen vaatteisiin on vaativa tehtävä, sillä tekstiilin käyttökohte asettaa teknologiaintegraatiolle paljon erilaisia vaatimuksia. Tässä opinnäytetyössä paineanturin tekstiili-integraatiota tarkasteltiin pääasiassa kaupalliseen käyttöön tarkoitettujen tuotteiden näkökulmasta.

Koska kyseessä on anturin integroiminen vaatetuksena toimivaan tekstiiliin, tulee toteutettavan anturiratkaisun olla ergonominen. Se ei saa hiertää tai muuten tuntua epämukavalta eikä rajoittaa käyttäjän liikkumista tai muuta toimintaa. Tekstiiliin integroidun anturin tulee kestää taivuttelua, iskumaista kuormitusta, tekstiilin venyttämistä sekä muuta mekaanista rasitusta. Lisäksi tekstiiliin integroidun elektroniikan tulee kestää kastumista ja jopa konepesua (kosteus, mekaaninen rasitus, korkeahkot lämpötilat ja kemialliset olosuhteet).

Älysukkaan sijoitetaan yhteensä neljä anturia kuvion 4 mukaisesti. Pinta-alaltaan suurin anturi on noin 100 mm x 100 mm ja sen tulee pystyä havainnoimaan jalkapallon pomputtelusta aiheutuva kosketus jalkapöydän päältä (ks. kuvio 4 B). Kaksi muuta pallokosketusta havainnoivaa anturia, jotka sijaitsevat jalkaterän sisä- ja ulkosyrjällä (kuviot 4 A ja C), havaitsevat myös pallokosketuksia. Mitoiltaan nämä anturit ovat luokkaa 30 mm x 150 mm. Neljäs anturi, mitaltaan noin 25 mm x 25 mm, sijaitsee päkiän alla keräämässä dataa askelluksesta (ks. kuvio 4 D).

Antureilta lähtevät johtimet toteutetaan valittavasta anturiratkaisusta riippuen joko tavallisilla kaapeleilla, jotka sijoitetaan tekstiiliin ommeltuun kanavaan, tai vaihtoehtoisesti kaistaleilla sähköä johtavaa kangasta, jotka ommellaan tekstiiliin. Kolmas vaihtoehto on toteuttaa johtimet sähköä johtavalla langalla. Johtimien ja mikrokontrollerin, Bluetooth-lähettimen ym. sisältävän elektroniikan välisien kontaktorien toteutuksessa voidaan käyttää esimerkiksi neppareita (helposti toteutettavissa etenkin sähköä johtavan kankaan tai

langan kanssa) tai perinteisiä riviliittimiä (sopii etenkin tavalliselle kaapelille). Liitinratkaisun selvittäminen ei kuitenkaan ole osa tätä opinnäytetyötä.



Kuvio 4. Havainnollistava kuva anturien sijoittumisesta ja koosta älysukassa

### 3.2 Ergonomia

Ergonomia voidaan jakaa älysukan käytössä neljään eri osa-alueeseen: elastisuus, taipuisuus, huomaamattomuus sekä hengittävyys. Elastisuudella tarkoitetaan anturin kykyä mukautua tekstiilin venymiseen, taipuisuudella tekstiilin taipumista jalan muotojen mukaan ja huomaamattomuudella anturi-integraation yleistä huomaamattomuutta käyttötilanteen aikana.

Huomaamattomuuteen vaikuttavat edellä mainittujen elastisuuden ja taipuisuuden lisäksi anturiratkaisun paksuus.

Hengittävyydellä tarkoitetaan teknisen ratkaisun kykyä siirtää kosteutta ja lämpöä vastaavaan tapaan kuin normaali urheilusukka. Koska kosketusanturit kattavat suuren osa sukan jalkaterää peittävästä alueesta, on sukan pystyttävä siirtämään kosteutta iholta pois päin. Hengittämättömän,

kumimaisen FSR-materiaalin määrän pienentäminen sekä sähköä johtavan kankaan käyttäminen elektrodimateriaalina ovat keinoja hengittävyyden parantamiseksi.

### **3.3 Kestävyys ja toimintavarmuus**

Anturi-integraation kestävyyttä arvioitaessa otettiin huomioon seuraavia asioita: kosteudenkestävyys, mekaaninen kestävyys ja toimintavarmuus.

Kosteudenkestävyydellä tarkoitetaan teknisen ratkaisun kykyä kestää kosteita olosuhteita käytön aikana. Tämä tarkoittaa tässä tapauksessa käytännössä sitä, että jalan hikoilusta sekä ympäristöstä aiheutuva kosteus ei aiheuta oikosulkua antureihin tai johtimiin.

Mekaanisella kestävyydellä tarkoitetaan teknisen ratkaisun kykyä kestää käytöstä ja pesusta aiheutuvaa mekaanista kuormitusta. Suurimmat haasteet kestävyydelle asettavat konepesu (etenkin linkous) sekä sukan pukemisesta aiheutuva tekstiilin venyminen.

### **3.4 Muut yleiset ominaisuudet**

Muita arvioitavia ominaisuuksia olivat anturin riittävä herkkyys sekä teknisen ratkaisun integroitavuus. Riittävällä herkkyydellä tarkoitetaan FSR-anturin kykyä havaita siihen kohdistuvasta iskusta aiheutuva resistanssinmuutos. FSR-anturin resistanssimuutoksen tulee olla havaittavissa ympäristön aiheuttamista häiriöistä. Pallon jalkaterään kohdistama isku kattaa arviolta vähintään pinta-alan 25 mm x 25 mm. Tämän voidaan katsoa olevan pienin pinta-ala, jonka anturin tulee pystyä havaitsemaan. Tämä on olennaista etenkin kaapeli- ja nauhamallisten sekä FSR-materiaalisuikaleita sisältävien anturimallien suunnittelussa.

Teknisen ratkaisun integroitavuus kuvaa sitä, miten luontevasti anturi on integroitavissa tekstiiliin. Ihannetapauksessa anturi muuttuu osaksi tekstiiliä. Eri komponenttien ja materiaalien pieni määrä katsotaan eduksi integroitavuudessa.

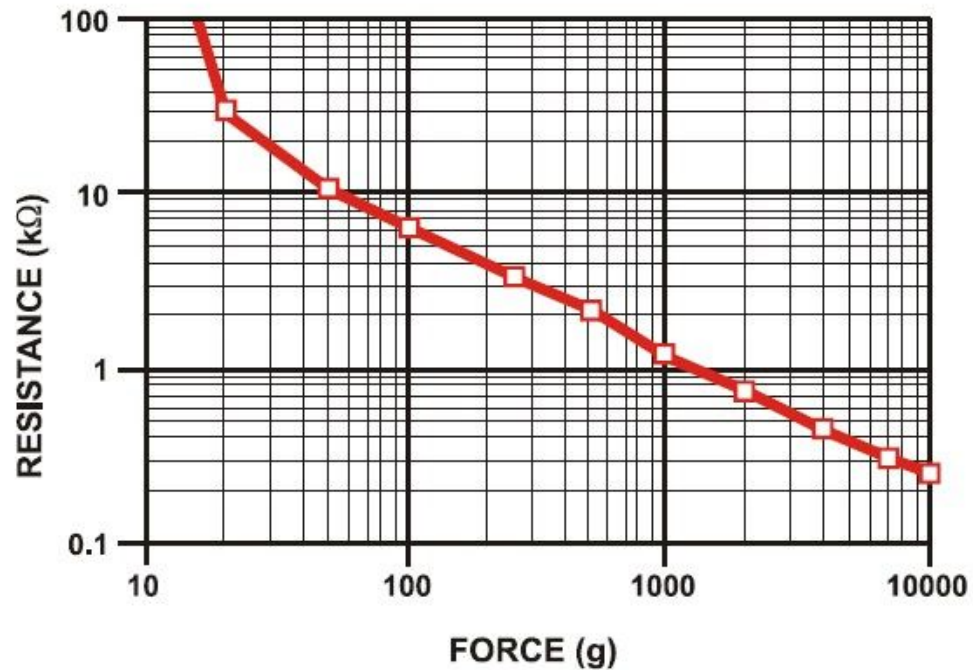
## 4 FSR-paineanturit ja FSR-materiaali

### 4.1 FSR-paineanturit

Integroitavat paineanturit toteutetaan FSR (force sensitive resistor) –tyyppisillä antureilla niiden saatavuuden (sekä helpon valmistuksen), muokattavuuden ja suhteellisen edullisen hinnan takia. Lisäksi älysukan jo olemassa oleva elektroniikka ja datankäsittely on suunniteltu toimimaan nimenomaan FSR-anturien kanssa. Voiman mittaamisessa FSR-anturi on kuitenkin verrattaen epätarkka anturi moniin muihin, esimerkiksi venymäliuskaan, verrattuna tyypillisesti kaupallisen FSR-tyyppisen paineanturin tarkkuus vaihtelee välillä  $\pm 5\%$  -  $\pm 25\%$  (Force Sensing Resistor Integration Guide and Evaluation Parts Catalog n.d., 5-8). Koska opinnäytetyön aiheena olevassa sovelluksessa käytettävät anturit toimivat ainoastaan kosketusantureina, on FSR-anturin mittatarkkuus tähän tarkoitukseen riittävä.

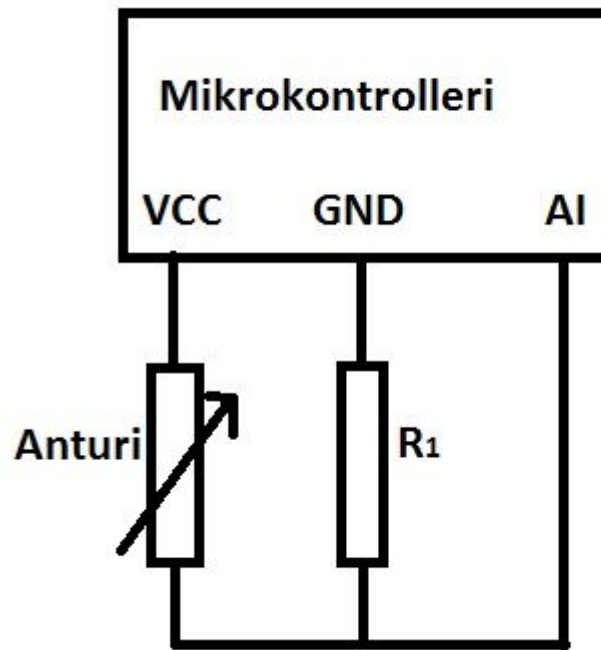
FSR-anturin resistanssia mitattaessa niihin yleensä kohdistetaan pieni alkupaine, ”aktuaatiovoima”, jonka avulla varmistetaan FSR-materiaalin kontakti elektrodeihin ja anturin resistanssi saadaan siirrettyä alle 100 k $\Omega$ :n alueelle. Voiman lähentyessä nolaa anturin resistanssi läheneekin ääretöntä. FSR-anturin resistanssin suhdetta kohdistettuun voimaan kuvaava kuvaaja noudattaa yhtälön  $F(R) = 1/R$  kuvaajan muotoa. Kuvaaja logaritmiselle asteikolle sijoitettuna on esitetty kuviossa 5. (Force Sensing Resistor Integration Guide and Evaluation Parts Catalog n.d., 5-8)





Kuvio 5. Resistanssin suhde FSR-anturiin kohdistettuun voimaan (Interlink Electronics n.d.)

FSR-anturi toimii samalla periaatteella kuin säätövastus. FSR-anturi muodostuu kahdesta elektrodista sekä niiden väliin asetetusta materiaalista, jonka resistanssi muuttuu siihen kohdistuvan paineen vaihtelun mukaan. Tässä opinnäytetyössä elektrodien väliin tulevaan materiaaliin viitataan ”FSR-materiaalina”. Anturin resistanssin vaihtelualueeseen vaikuttaa suuresti etenkin anturin rakenne. Rakenteen resistanssin kannalta olennaisia tekijöitä ovat etenkin elektrodien koko ja etäisyys toisistaan. Tyypillisen kaupallisen FSR-anturin resistanssi vaihtelee alueella 100 kΩ - 1 kΩ. FSR-anturi kytketään mikrokontrolleriin kuvion 6 mukaisesti.



Kuvio 6. FSR-anturin kytkeminen mikrokontrolleriin

Mikrokontrollerin analogisisääntuloon menevää jännitettä voidaan säätää valitsemalla kuvion 6 kytkennän jännitteenjakajan vastuksen  $R_1$  suuruus siten, että analogisisääntuloon menevä jännite skaalautuu välille 0 V – 5 V. Jännitteenjakajan vastus mitoitetaan seuraavan kaavan mukaisesti.

$$R_1 = R_{sensormax} \cdot \frac{1}{\left(\frac{V_{in}}{V_{out}} - 1\right)}$$

jossa

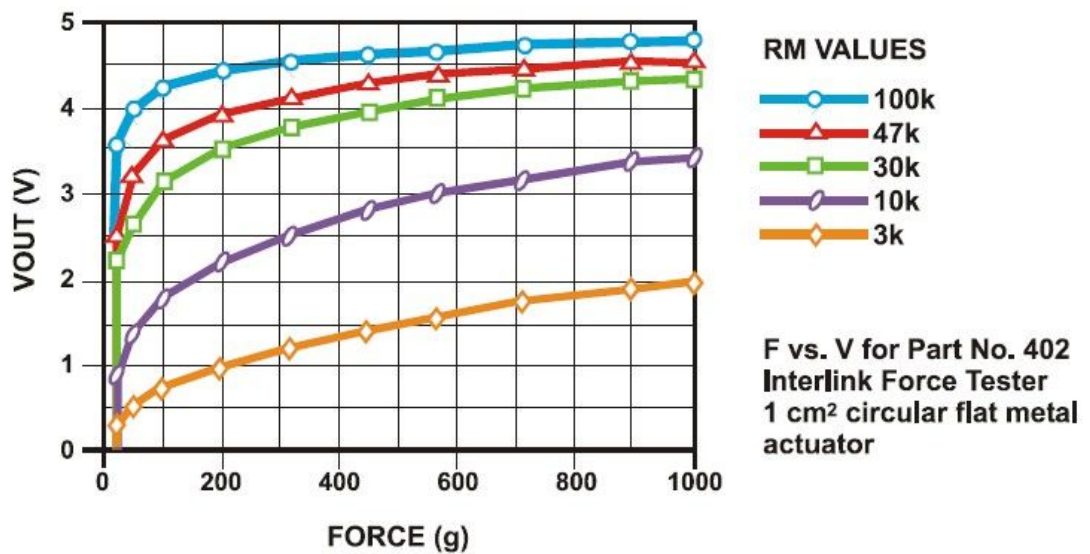
$R_1$  = jännitteenjakajan vastus

$R_{sensormax}$  = anturin resistanssin haluttu yläraja

$V_{in}$  = anturille menevä jännite (= VCC = 3,3 V)

$V_{out}$  = anturilta analogiasisääntuloon tuleva jännite

Anturin resistanssin haluttu yläraja,  $R_{sensormax}$ , on FSR-anturin resistanssi, joka vastaa pienintä anturiin kohdistuvaa voimaa, joka halutaan mitata. Jännitteenjakajan vaikutusta havainnollistetaan kuviossa 7.

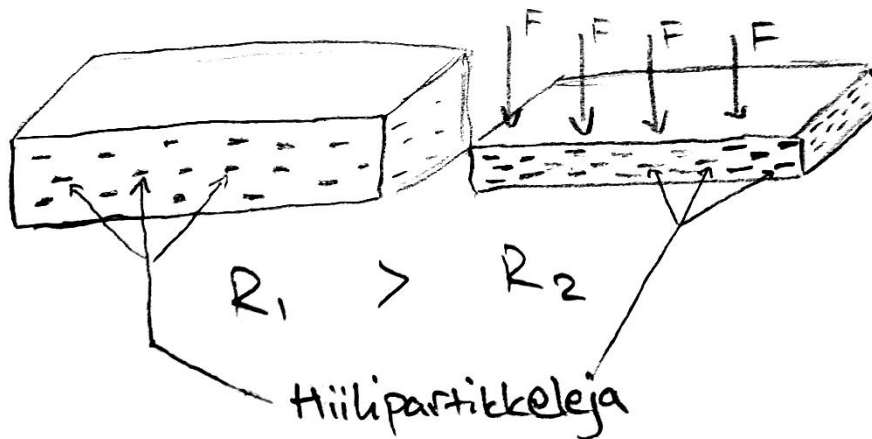


Kuvio 7. Jännitteenjakajan vaikutus mikrokontrollerin sisääntuloon menevään jännitteeseen (Interlink Electronics n.d.)

## 4.2 FSR-materiaalit

Tyypillisessä FSR-materiaalissa elastiseen polymeeriin on valmistusvaiheessa sekoitettu sähköä johtavia hiilipartikkeleita. Elastisen FSR-materiaalin puristuessa kasaan myös sen resistanssi pienenee hiilipartikkelien pakkautuessa lähemmäksi toisiaan (ks. kuvio 8), jolloin materiaalin johtavuus kasvaa. Kohdistettaessa tarpeeksi painetta FSR-materiaaliin sen pinnan resistanssi voidaan saada putoamaan noin jopa alle 1 k $\Omega$ /cm<sup>2</sup>:n lukemiin (Velostat Sheet Stock n.d.).

Tunnetuimmat FSR-materiaalit ovat nimeltään Velostat ja Linqstat. Tässä opinnäytetyössä FSR-materiaalina käytettiin Velostat-materiaalia. Velostatin alkuperäinen käyttötarkoitus on elektroniikan pakkausmateriaali, johon se soveltuukin erinomaisesti antistaattisuutensa takia.



Kuvio 8. FSR-materiaalin toimintaperiaate

Velostatin tilalla voitaisiin periaatteessa käyttää myös Creative Materialsin valmistamaa 118-44 FSR-mustetta, joka toimii samalla periaatteella kuin Velostat. Valmistaja ei kuitenkaan anna tarkempia tietoja musteen kosteuden ja kemikaalien kestävydestä, vaikka mainitseekin tuotteen hydrolyyttisen stabiiliteetin olevan erinomainen (118-44 Pressure Variable Resistor Ink Data Sheet n.d.). Tuotteen hankalan saatavuuden ja epävarman soveltuvuuden vuoksi tässä opinnäytetyössä pitäydyttiin Velostat-materiaalissa.

### 4.3 Velostatin konepestävyyden teoreettinen arviointi

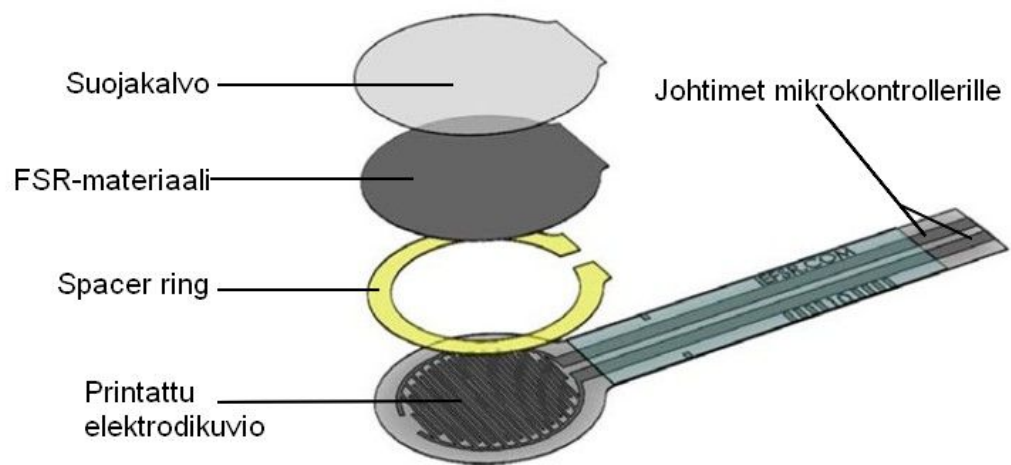
Velostatin käyttäytymistä pyykinpesukoneessa arvioitiin teoreettisesti tutkimalla valmistajan tarjoamia tietoja materiaalista sekä empiirisesti kokeilemalla. 3M Company kertoo Velostatin datalehdellä käytössä olevan Velostat-materiaalin kuumamuokkautumislämpötilaksi 100 °C 66 PSI:n (4,6 bar) paineessa tai vaihtoehtoisesti 50 °C 264 PSI:n (18,2 bar) paineessa. Nämä lämpö- ja paineolosuhteet eivät normaalissa 40 °C:n pyykinpesussa toteudu, joten Velostatin lämpötilankesto ei ole rajoittava tekijä. Velostatin

veden absorbointikyvyksi annetaan datalehdellä alle 0,2 %, jonka voidaan tässä sovelluksessa (anturien toimiessa ainoastaan kosketusantureina) katsoa olevan sallittavissa rajoissa. Lisäksi Velostatin luvataan olevan vastustuskykyinen happamille sekä emäksisille liuoksille, joten tällöin emäksisien pyykinpesuaineiden ei pitäisi aiheuttaa Velostatille vahinkoa. Velostatin konepesunkestävyyden empiirinen arviointi on esitelty liitteessä 1. (Velostat Sheet Stock, n.d.)

#### **4.4 Tyypilliset kaupalliset FSR-anturit**

Tyypillisissä kaupallisissa FSR-antureissa (ks. kuvio 9) elektrodit toteutetaan yleensä printtaamalla haluttu anturikuvio pohjakalvolle rinnakkain samaan tasoon. Printatun elektrodikuvion päälle sijoitetaan joko printtaamalla tai adhesiivisesta materiaalista muotoon leikattu välirengas, ”spacer ring”, jonka tehtävänä on toisaalta pitää FSR-materiaali irrallaan elektrodeista ja toisaalta taas pitää adhesiivisella pinnallaan anturin rakenne kasassa. Välirenkaan jälkeen anturissa tulee FSR-kerros. FSR-kerros on yleensä toteutettu printtaamalla FSR-materiaalia PET-muoville. (Interlink Electronics FSR Force Sensing Resistors n.d.)

Printtaamalla toteutetut elektrodit eivät kuitenkaan sovellu tekstiili-integraatioon, sillä Interlink Electronicsin FSR Integration Guiden mukaan elektrodikuvion printtauksessa käytetty hopeamuste ei kestä taivuttelua eikä venymistä rikkoontumatta. Tästä syystä kaupalliset FSR-anturit ovat verrattaen jykkiä tekstiiliin verrattuna. Myös konepesu muodostuu ongelmaksi kaupallisten FSR-anturien kanssa, sillä anturin eristekerrokset saattavat irrota toisistaan kastumisen seurauksena.



Kuvio 9. Tyypillinen kaupallisen FSR-anturin rakenne (alkup. kuva Interlinks Electronics, muokattu)

## 5 Erilaisten FSR-anturirakenteiden ideointi

### 5.1 Lähtökohdat ja strategia sopivan anturirakenteen selvittämiseksi

Opinnäytetyön tavoitteena oli ergonomisesti tekstiiliin integroitavan FSR-tyyppisen kosketusanturina toimivan paineanturin rakenteen suunnittelu. Anturirakenteen suunnittelua lähestyttiin karsimalla FSR-anturin rakenteesta älysukan anturi-integraation kannalta merkityksettömät ominaisuudet. Yksi strategia elastisen ja kustannustehokkaan FSR-anturin toteuttamiseen olikin mahdollisimman yksinkertaisen anturirakenteen selvittäminen. Tämän ohella olemassa olevia ja itse ideoituja ratkaisuja pyrittiin kehittämään

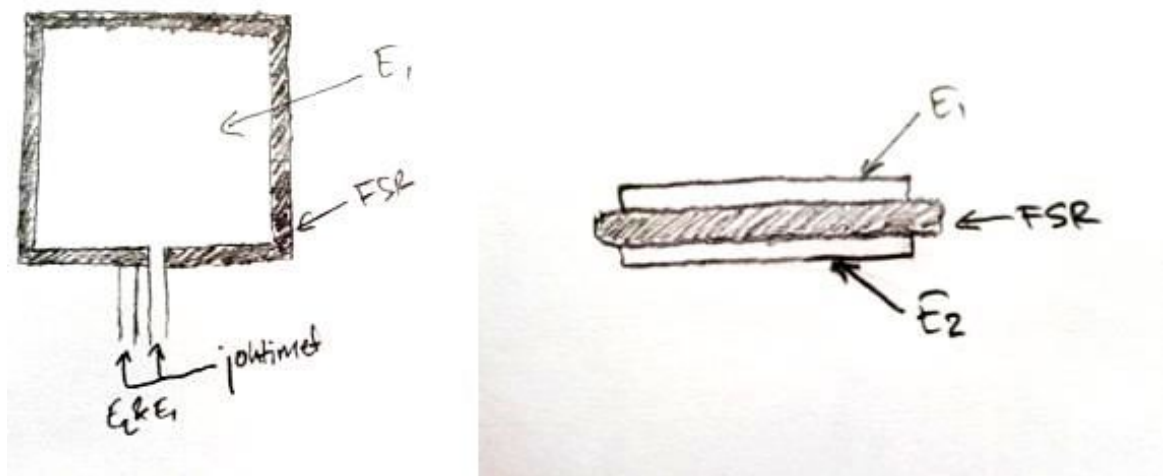
vaatimustenmukaiseen tekstiili-integraatioon soveltuvaksi keskittymällä niissä esiintyviin ongelmiin.

Erilaisten anturiratkaisujen herkkyyttä (resistanssin vaihteluväliä) tutkittiin kohdistamalla anturiin ensin kevyt ”aktuaatiovoima” (ks. luku 4.1 FSR-paineanturit) kämmenellä, jonka jälkeen anturiin kohdistuvaa voimaa kasvatettiin arviolta noin 100 newtoniin. Mittaustapa on varsin epätarkka, mutta kuitenkin riittävä todentamaan anturiratkaisun toimivuus pallokosketuksia havaitsevinä antureina. FSR-anturin voi toteuttaa usealla eri tavalla. Tässä opinnäytetyössä anturiratkaisut jaetaan kolmeen eri kategoriaan toteutustavan mukaan:

- ”hampurilaisrakenne”
- rinnakkaisrakenne
- kaapelirakenne.

## 5.2 ”Hampurilaisrakenne”

”Hampurilaisrakenteessa” FSR-materiaali sijoitetaan ”pihviksi” kahden elektrodin, ”sämpylänpuolikkaan”, väliin kuvion 10 mukaisesti. Tällöin paineen kohdistuessa anturiin elektrodit E1 ja E2 puristavat välissä olevaa FSR-materiaalia.

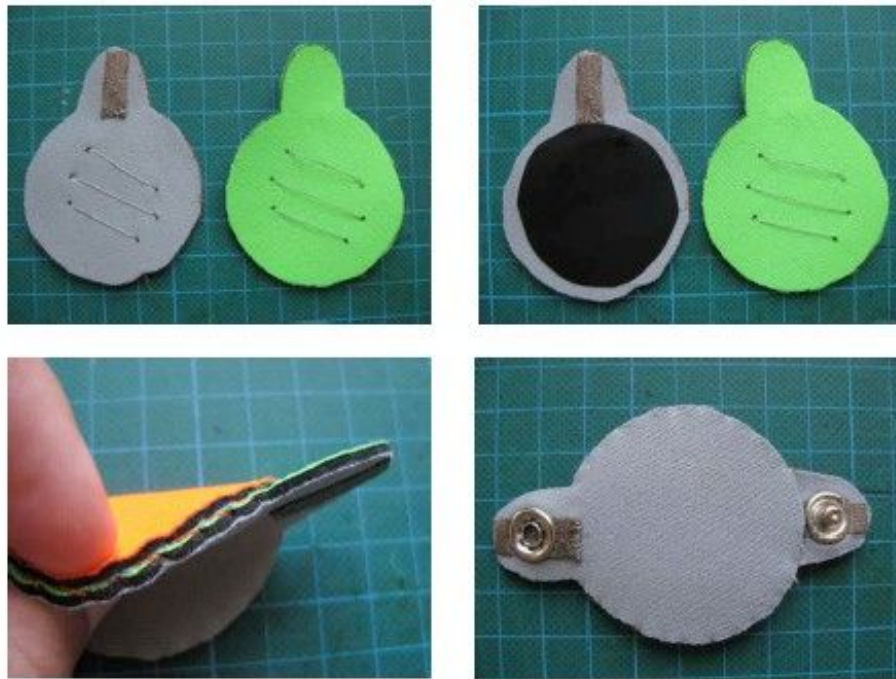


Kuvio 10. Hampurilaisrakenne ylhäältä ja sivulta päin kuvattuna

Ehkä suosituin tapa etenkin ”tee se itse”-paineanturien ja tekstiilin yhdistämiseen on käyttää nk. kangasantureita, joissa ”hampurilaismallisen” FSR-anturin elektrodit korvataan sähköä johtavalla kankaalla. Kangasanturin sähköä johtavana kangasmateriaalina voitaisiin käyttää esimerkiksi Shieldexin Bremen-kangasta (kankaan resistanssi on alle  $0,5 \Omega/\text{cm}^2$ ) (Bremen datasheet, n.d.). Ongelmana kangasantureissa on kuitenkin se, että etenkin ulkovaatekäytössä elektrodien tulisi olla eristettynä ympäristössä esiintyvältä kosteudelta, joka voisi johtaa anturin oikosulkuun.

Kangasanturi on kuitenkin luontevasti integroitavissa tekstiiliin: sähköä johtava kangas yksinkertaisesti ommellaan kiinni haluttuun kankaaseen. On myös mahdollista korvata osa tekstiilistä kokonaan sähköä johtavalla kankaalla. Ongelmaksi tässä rakenteessa kuitenkin muodostuu etenkin suuren kangasanturin kyseessä ollessa tekstiilin hengittävyysvoimakas heikkeneminen. Johtavien kankaiden välissä oleva suuri pala FSR-materiaalia estää hikoilemisesta johtuvan kosteuden siirtymisen kankaan ulkopuolelle. Kangasanturi ”hampurilaisrakenteella” on kuitenkin yksi potentiaalinen vaihtoehto anturiratkaisuksi. Mahdollinen vaihtoehto on myös sähköä johtavan kankaan korvaaminen sähköä johtavalla langalla kuvion 11 mukaisesti (Handcrafting Textile Sensors from Scratch n.d., 9 - 11). Tällä ratkaisulla tekstiiliin integroitavan materiaalin määrää saadaan pienennettyä sähköä johtavasta kangastilkusta pelkkään sähköä johtavasta langasta ommeltuun ompeleeseen.

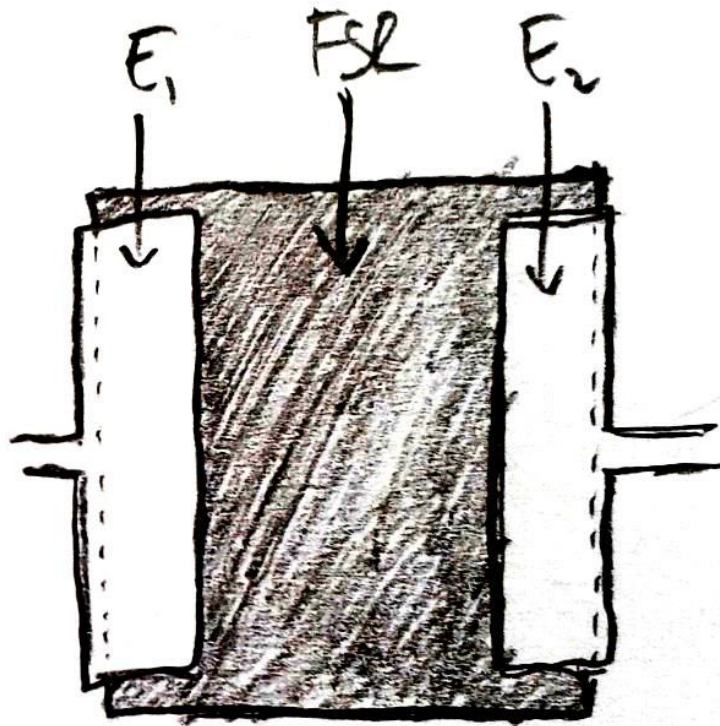




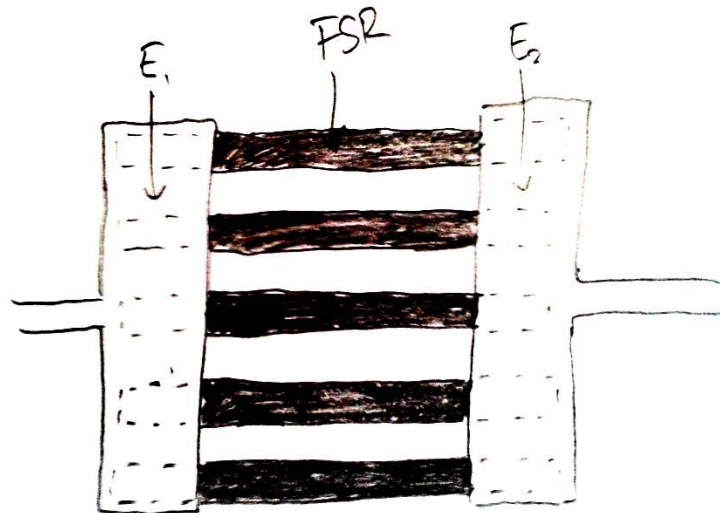
Kuvio 11. Sähköä johtavalla langalla toteutettu hampurilaisrakenne (Adafruit n.d.)

### 5.3 Rinnakkaisrakenne

Rinnakkaisrakenteella tarkoitetaan tässä opinnäytetyössä anturirakennetta, jossa molemmat elektrodi ovat sijoitettu rinnakkain samalle puolelle FSR-materiaalia. Pelkistetyimmillään rinnakkaisrakenteella toteutetussa anturissa FSR-materiaalin eri reunoihin sijoitetaan kaksi elektrodia kuvion 12 mukaisesti. Periaatteessa ratkaisu voisi olla vieläkin yksinkertaisemmin toteutettuna kaksi johdinta kiinnitettynä sopivankokoiseen palaan FSR-materiaalia. Rinnakkaisrakenne on mahdollista toteuttaa korvaamalla elektrodit sähköä johtavalla kankaalla.



Kuvio 12. Yksinkertainen rinnakkaisrakenne



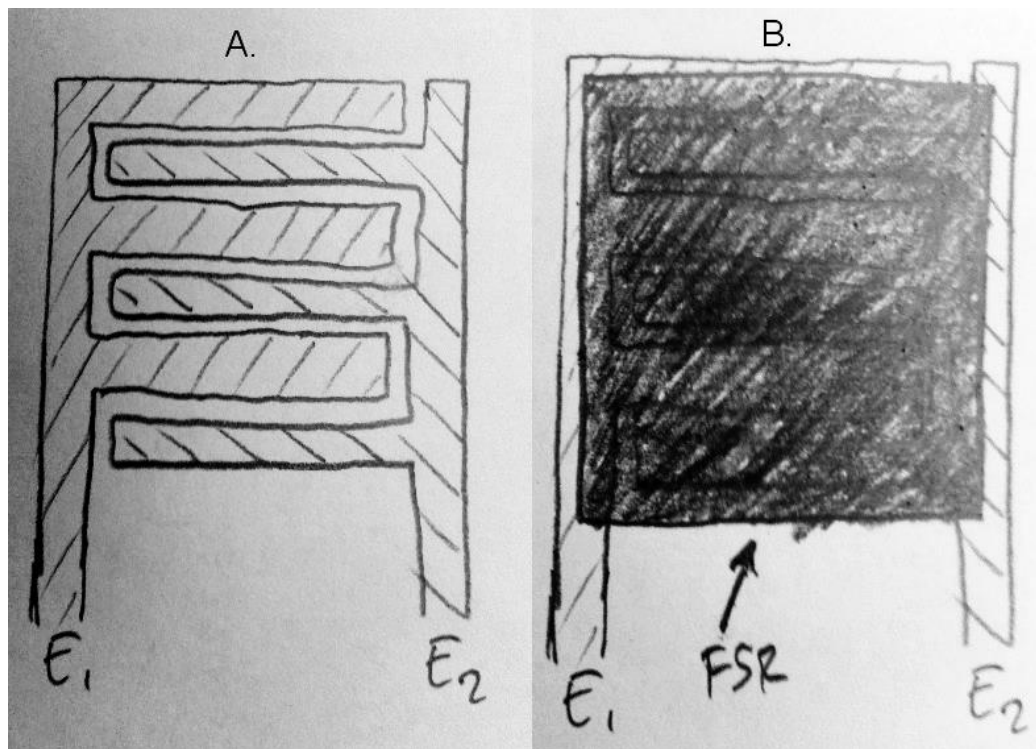
Kuvio 13. Yksinkertainen rinnakkaisrakenne, kaistalemalli

Toisaalta elektrodien välille tuleva Velostat voidaan toteuttaa kapeina kaistaleina kuvion 13 mukaisesti, jolloin anturin elastisuus ja etenkin

hengittävyys paranisi. Elektrodit sekä Velostat tulisi tällöin suojata ympäristön kosteudelta.

Näissä rakenteissa ongelmaksi kuitenkin muodostuu anturin liian pieneksi jäävä herkkyys anturin koon (ja sitä myötä elektrodien välimatkan) kasvaessa liian suureksi. Elektrodien välimatkan ollessa toisistaan 100 mm, mitattiin anturin resistanssiksi noin 15 k $\Omega$ . Resistanssi ei havaittavasti muuttunut kohdistettaessa painetta FSR-materiaaliin. Anturin herkkyyttä voidaankin lisätä muotoilemalla elektrodit siten, että ne menevät lomittain kuvion 14 A-kohdan mukaisesti. FSR-materiaali sijoitetaan elektrodikuvion päälle (ks. kuvio 14 B).

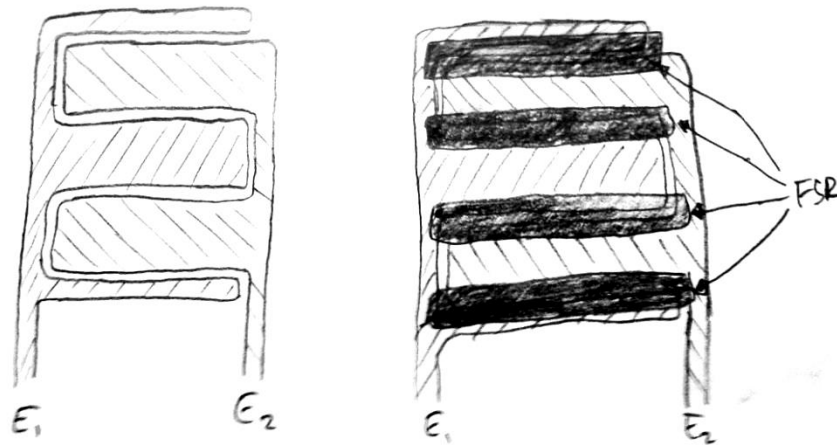
Tämänkaltaisen limittäisen rinnakkaisrakenteen suosio kaupallisissa FSR-anturien valmistuksessa selittyy riittävän herkkyyden lisäksi sillä, että etenkin printattaessa elektrodit samalle pohjamateriaalille rinnakkaisrakenne sisältää vähemmän irtoneisia komponentteja kuin esimerkiksi edellä mainittu hampurilaisrakenne.



Kuvio 14. Rinnakkaisrakenteen elektrodit ilman FSR-materiaalia (A) ja FSR-materiaalin kanssa (B)

Testattaessa kooltaan noin 100 mm x 100 mm olevaa limittäistä rinnakkaisrakennetta, jossa elektrodien välimatka toisistaan oli noin 3 mm, oli anturin resistanssi kuormituksesta riippuen välillä 5 k $\Omega$  - 0,5 k $\Omega$ . Tämä herkkyys on riittävä käyttötarkoitusta silmälläpitäen. Riskinä tässä rakenteessa on se, että sähköä johtavasta kankaasta valmistetut elektrodit kulutuksen myötä rispaantuvat ja ottavat toisiinsa kontaktia aiheuttaen oikosulun rakenteeseen.

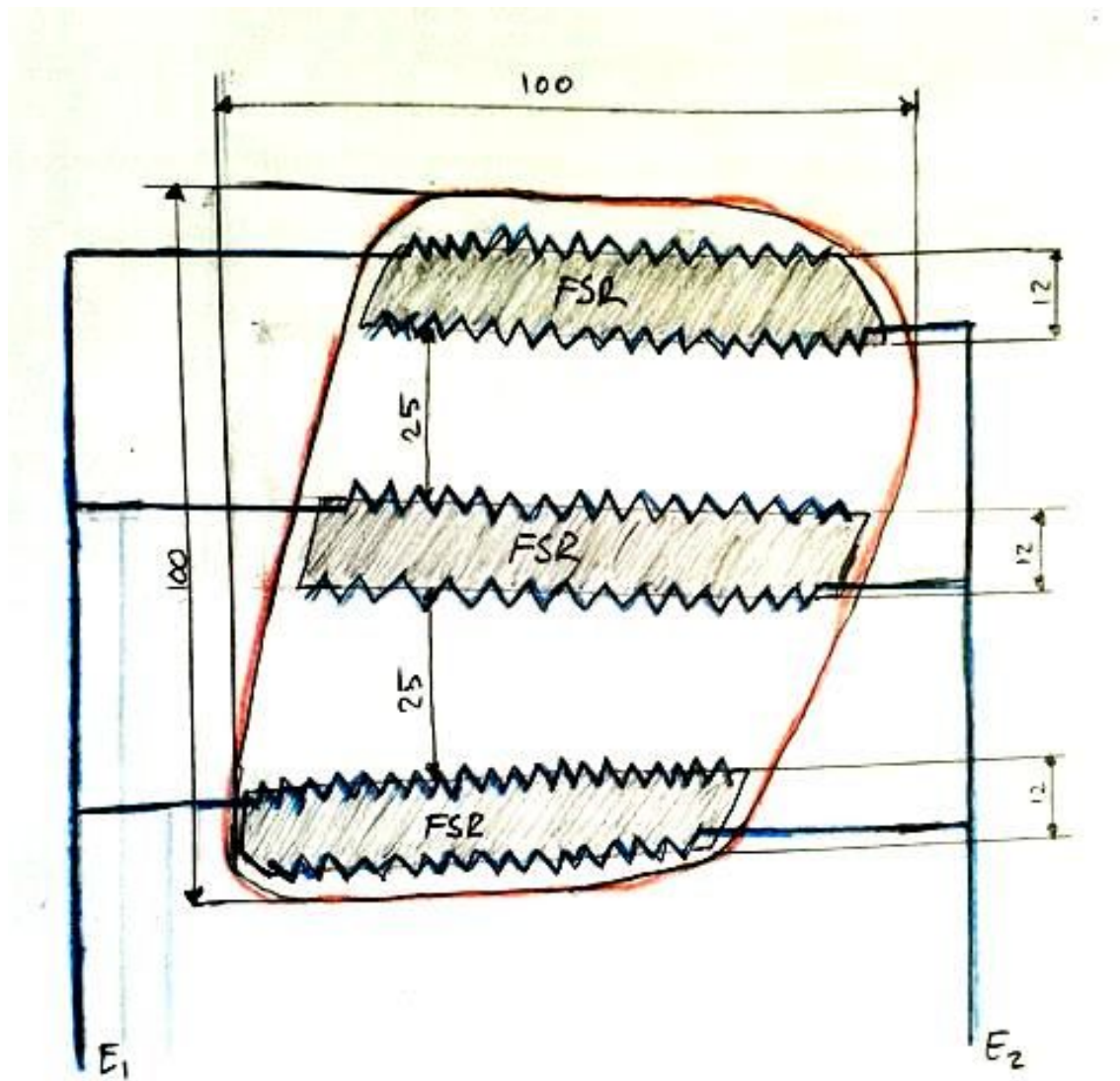
Kangasanturin ollessa kyseessä on myös mahdollista lisätä anturin hengittävyttä vähentämällä anturiin tulevan FSR-materiaalin määrää korvaamalla koko anturin kattava FSR-materiaalipala sopivin välimatkoin (tässä tapauksessa n. 25 mm) elektrodien välisiin kohtiin sijoitetuin FSR-materiaalikaistalein kuvion 15 mukaisesti. Tällä rakenteella saavutettaisiin joustava, kestävä ja hengittävä anturirakenne. FSR-kaistaleet on mahdollista kiinnittää kankaaseen esimerkiksi ompelemalla. Tällä tavalla toteutetun anturin resistanssi oli välillä 5 k $\Omega$  - 0,5 k $\Omega$ .



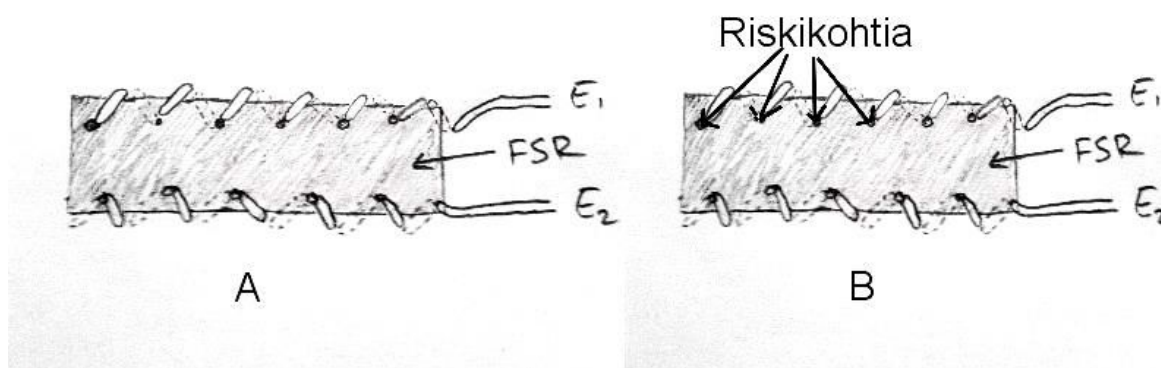
Kuvio 15. Rinnakkaisrakenne FSR-materiaalikaistaleilla

Periaatteessa yllä oleva rinnakkaisrakenne olisi mahdollista toteuttaa myös kokonaan sähköä johtavaa lankaa hyväksi käyttäen kuviot 16 ja 17. Tässä tapauksessa elektrodi (= lanka) pystyttäisiin ompelemaan suoraan haluttuun tekstiiliin esimerkiksi joustavalla siksak-ompeleella (Joustavat saumat n.d.). Myös FSR-kaistaleet olisi tällöin mahdollista kiinnittää tekstiiliin samalla elektrodina toimivalla johdinlangalla. Haluttaessa kosketusanturin kattavan suuria pinta-aloja, voidaan FSR-kaistaleet sijoittaa rinnakkain vastaavalla tavalla kuin FSR-rinnakkaisrakenteessa. Kuviossa 16 punaisella värillä rajattu alue on haluttu kosketuspinta-ala, joka vastaa jalkapöydän päälle tulevaa anturia. Elektrodeina toimivat sähköä johtavat langat ovat merkitty sinisellä värillä.

Tämän ratkaisun etuna on etenkin integroitavuus sekä valmistuksen yksinkertaisuus: anturin valmistus toteutuisi käytännössä siten, että FSR-materiaali ainoastaan ommellaan sähköä johtavalla langalla kiinni haluttuun tekstiiliin (ks. kuvio 17 A). Heikoksi puoleksi saattaa taas osoittautua FSR-materiaalin ja ompeleen saumakohtien mekaaninen kestävyys (ks. kuvio 17 B). Etenkin anturia venytettäessä voi olla mahdollista, että tikit repivät FSR-materiaalin reikiä tarpeettoman suuriksi aiheuttaen toimintahäiriöitä sekä anturin kulumista ja sitä myötä tuotteen käyttöiän tarpeetonta pienenemistä.



Kuvio 16. Havainnollistava kuva ommelanturin rakenteesta



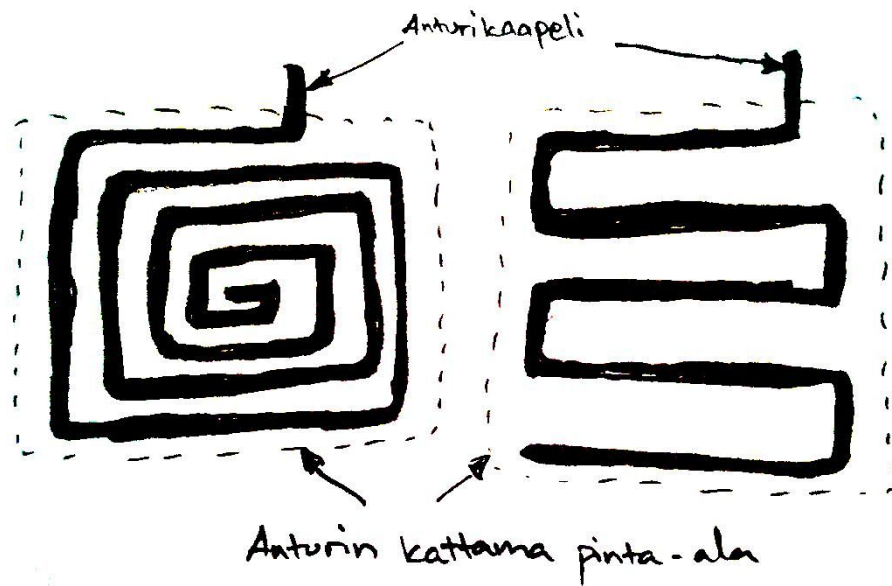
Kuvio 17. Ommelanturin yksittäinen FSR-kaistale (A) ja sen potentiaaliset rikkoontumiskohdat (B)

Ommelanturin toimintaa tutkittiin kuvion 17 A. mukaisella järjestelyllä, jossa FSR-suikaleen koko oli 70 mm x 12 mm. Koska sähköä johtavaa lankaa ei ollut saatavilla, korvattiin se tässä testissä ominaisuuksiltaan riittävän samanlaiseksi arvioidulla ohuella säikeisellä kuparijohtimella. Yhden FSR-kaistaleen resistanssin vaihteluväliksi mitattiin 15 k $\Omega$  - 4 k $\Omega$ , mikä on älysukan käyttökohteeseen nähden riittävän suuri vaihtelu.

#### 5.4 Kaapeli- ja nauharakenne

Kaapeli- ja nauharakenteissa ideana on muokata FSR-anturista pitkä ja taipuisa. Tämä rakenne mahdollistaa sen, että anturikaapelilla on mahdollista saada katettua suuri ja vapaasti muotoiltavissa oleva pinta-ala kuvion 18 mukaisesti. Anturikaapeli olisi mahdollista integroida tekstiiliin ompelemalla tekstiiliin halutun muotoinen kanava, jonka sisään kaapeli-anturi sijoittuu. Kaapeli- ja nauhamallisen anturin etuna on myös valmistettavuus. Kaapeli- ja nauhamallista anturia voisi periaatteessa olla mahdollista valmistaa metritavarana, mikä pienentäisi yksittäisen anturin kustannuksia suuria määriä valmistettaessa. Toisaalta kaupallisesti kelvollisen kaapeli-anturin valmistuksen aloittaminen vaatisi vielä paljon lisää tuotekehitystä, mikä lisäisi tuotannon aloituskustannuksia merkittävästi.



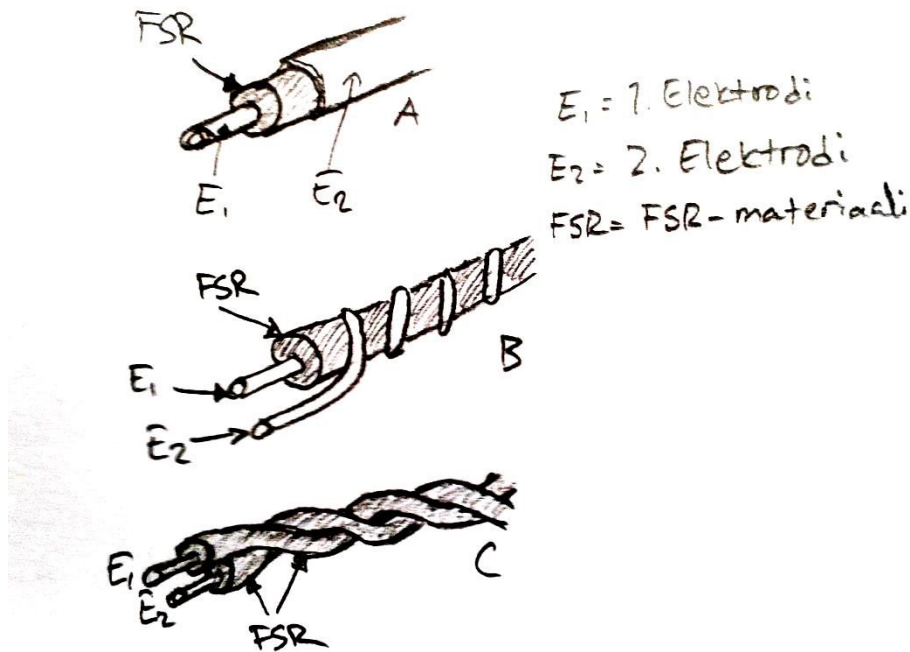


Kuvio 18. Kaapelianturin kattama pinta-ala

Yksi ratkaisu pitkän ja taipuisan FSR-anturin toteuttamiseksi on anturi, jossa elektrodit muodostavat "koaksiaalikaapelin". Koaksiaalikaapelimallissa FSR-materiaali vastaa eristekerrosta kaapelin ytimen ja vaipan välille (ks. kuvio 19 A). Toinen vaihtoehto kaapelianturin toteuttamiseksi on päällystää johdin FSR-materiaalilla ja kieputtaa toinen johdin päällystetyn johtimen ympärille (ks. kuvio 19 B).

Kolmannessa kaapelianturiratkaisussa, "parikaapelimallissa", kahdesta johtimesta muodostetaan parikaapeli, jonka eristyksen tilalla on FSR-materiaalia. Tällöin kierteelle taivutettu parikaapeli toimii puristukseen reagoivana säätövastuksena (ks. kuvio 19 C). Parikaapelimallissa anturilta lähtevät johtimet on luontevaa toteuttaa purkamalla parikaapeli kahdeksi erilliseksi johtimeksi, jolloin FSR-materiaali toimisi tavallisen johtimen eristeen tapaan eristeenä.





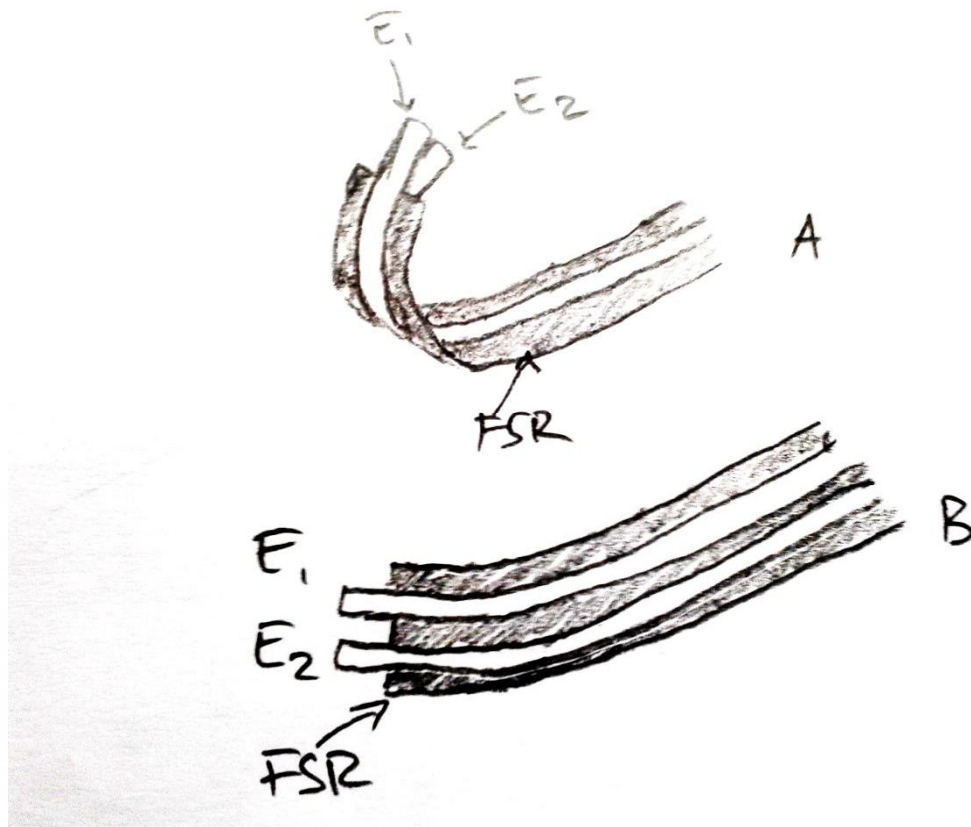
Kuvio 19. Erilaisia kaapelianturirakenteita

Koska kaikkien kaapelimallisten anturien rakenne on hyvin lähellä toisiaan, riittää anturiratkaisun toimivuuden selvittämiseksi yhden kaapelianturin herkkyyden testaaminen. Testattavaksi kaapelianturimalliksi valittiin kuvion 19 B -mallinen anturi sen helpon valmistettavuuden vuoksi. Anturi valmistettiin kieputtamalla kaistale FSR-materiaalia noin 100 mm mittaisen johtimen ympärille. Tämän jälkeen FSR-materiaalin ympärille kieputettiin toinen johdinelektrodi. Kaapelianturin resistanssin vaihteluväliksi mitattiin riittävät 10 k $\Omega$  - 0,5 k $\Omega$ .

FSR-anturi voitaisiin myös toteuttaa "nauhamallina" tällöin pitkät ja kapeat elektrodikaistaleet asetettaisiin pitkän ja kapean FSR-materiaalikaistaleen molemmille puolille (ks. kuvio 20 A). Tätä kaistaletta voitaisiin käyttää kaapelina vastaavaan tapaan kuin edellä mainittuja varsinaisia kaapelimalleja. Nauhamalli on mahdollista toteuttaa myös rinnakkaisrakenteella (ks. kuvio 20 B). Sekä kaapelimallit, että nauhamalli voisi olla mahdollista eristää ympäristöstään esimerkiksi kutistesukan avulla. Ongelmaksi kutistesukkaeristyksessä voi olla kutistesukan sisään tiivistyvä kosteus ja siitä johtuvat oikosulut. Lisäksi anturiin kohdistuvan paineen tai taivutuksen

puristaessa nauha-anturia kasaan, voivat FSR-materiaalin pintaan kiinnitetyt elektrodit ottaa toisiinsa kontaktia aiheuttaen oikosulun.

Kuvion 20 A -mallisen nauha-anturin resistanssin vaihteluväliksi mitattiin  $15\text{ k}\Omega - 1,5\text{ k}\Omega$ , mikä on riittävä. Noin 100 mm pitkän elektrodin pituus oli noin 100 mm ja leveys noin 2 mm.



Kuvio 20. Nauha-anturimalli

## 5.5 Eri ratkaisujen soveltuvuuden arviointi

Toteutettavan ratkaisun valinta suoritettiin tarkastelemalla sitä, miten kukin mahdolliseksi todettu ratkaisu täyttää vaatimuslistassa määritellyt ominaisuudet. Kullekin vaatimuslistassa määritetylle vaatimukselle määritettiin vaatimuksen tärkeyttä kuvastava painokerroin (melko tärkeä = 1, tärkeä = 1,5, erittäin tärkeä = 2). Tämän jälkeen arvioitiin kolmiportaisella (0 - 2) asteikolla kuinka hyvin eri tekniset ratkaisut täyttivät vaatimusmäärittelyn ominaisuudet ja kerrottiin luvut niitä vastaavilla tärkeyttä kuvaavilla painokertoimilla. Lopuksi kunkin teknisen ratkaisun saamat arvot summattiin pistemääräksi, joka kuvaa ratkaisun soveltuvuutta käyttötarkoitukseen. Suurin mahdollinen painotettu pistemäärä, jonka anturiratkaisu voi saada, oli siten 21 pistettä. Pistemäärää hyödynnetään sopivinta ratkaisua määrittäessä. Ominaisuuksien tärkeyttä arvioitiin taulukon 1 mukaisesti.

Taulukko 1. Anturi-ratkaisulta vaadittujen ominaisuuksien tärkeyksien arviointi

Ominaisuus	Tärkeys	Painokerroin
Riittävä herkkyys	Karsiva tekijä	Karsiva tekijä
Huomaamattomuus	Erittäin tärkeä	2
Elastisuus	Melko tärkeä	1
Taipuisuus	Melko tärkeä	1
Hengittävyys	Melko tärkeä	1
Kosteudenkestävyys	Melko tärkeä	1
Mekaaninen kestävyys	Tärkeä	1,5
Toimintavarmuus	Tärkeä	1,5
Integroitavuus	Melko tärkeä	1,5

Ensimmäiseksi anturiratkaisuja arvioitiin kriittisen (ja siten myös karsivan) ominaisuuden, riittävän herkkyyden, perusteella. Riittävä herkkyys oli karsiva tekijä, sillä jos anturirakenne ei toimi, niin se on käyttökelvoton sen muista ominaisuuksista riippumatta. Jos tekninen ratkaisu todettiin liian epäherkäksi anturin toimimattomuuden vuoksi, sen muita ominaisuuksia ei enää katsottu tarpeelliseksi arvioida. Koska sähköä johtavaa kangasta ei ollut opinnäytetyöhön saatavilla, käytettiin sen tilalla elektrodimateriaalina alumiiniteippiä. Kaikki arvioinnissa olleet hampurilais- sekä rinnakkaisrakenteet kuitenkin toteutettaisiin jatkossa käyttäen elektrodimateriaalina sähköä johtavaa kangasta. Anturiratkaisujen vaatimusten mukaisten ominaisuuksien toteutumista arvioitiin taulukossa 2.

Taulukko 2. FSR-anturiratkaisujen vertailu

	Riittävä herkkyys	Huomaamattomuus	Elastisuus	Taipuisuus	Hengittävyys	Kosteuden kesto	Mek. kesto	Toimintavarmuus	Integroitavuus	Painotettu pistemäärä
Rinnakkaisrakenne, elektrodit kaukana toisistaan	Ei	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nauharakenne	OK	1	1	2	2	2	2	1	1	15
Parikaapelimalli	OK	0	1	2	2	2	2	2	1	14,5
Hampurilaismalli, iso FSR-pala	OK	1	1	2	0	0	2	2	2	14
Lomittainen rinnakkaisrakenne, iso FSR-pala	OK	2	1	2	0	0	2	1	2	14,5
Lomittainen rinnakkaisrakenne, FSR-suikaleet	OK	2	2	2	2	0	2	1	2	17,5
Ommelanturi, FSR-suikaleet	OK	2	2	2	2	0	1	2	2	17,5

Suurimmat pisteet saivat ja siten anturi-integraatioon parhaiten soveltuvat anturiratkaisut olivat lomittainen rinnakkaisrakenne FSR-suikaleilla (kuvio 15) ja ommelanturi FSR-suikaleilla (kuvio 16). Erottavana ominaisuutena näillä ratkaisuilla oli toimintavarmuus ja mekaaninen kesto. Huomionarvoista on myös kosteutta kestävien ratkaisujen heikosta ergonomiasta johtuvat alaiset pistemäärät. Kosteutta kestävän FSR-anturin integrointi ergonomisella ja

huomaamattomalla tavalla osoittautuukin erityisen haastavaksi, ratkaisujen heikompi ergonomia johtui pääasiassa eristemateriaalien aiheuttamasta anturiratkaisun paksuuden lisääntymisestä.

Toisena ongelmana kutistesukan avulla eristettyjen käytössä on se, että vaikka anturi kestäisikin ulkoista kosteutta varsin hyvin, niin rakennetta on todennäköisesti käytännössä mahdotonta saada niin vesitiiviiksi, että se pitäisi kosteuden ulkopuolella myös konepesussa. Konepesun aikana rakenteeseen loukkuun jäänyt kosteus aiheuttaa jatkossa ongelmia oikosulkujen muodossa. Kangaspohjaisissa antureissa puolestaan kosteus pääsee helposti anturin rakenteisiin, mutta toisaalta kosteuden pois haihtumiselle ei ole vastaavaa estettä mitä kutistesukkaratkaisussa.

Erilaisissa ison FSR-materiaalipalan sisältävissä ratkaisuissa pääasialliseksi ongelmaksi osoittautui anturin hengittävyiden huononeminen ja sen myötä käyttömukavuuden heikkeneminen. Nykypäivän urheiluvaatteissa pyritäänkin käyttämään mahdollisimman hengittäviä ja kevyitä materiaaleja.

Valinta rinnakkaisrakenteen ja ommelanturin välillä riippuu siitä, kumpi ominaisuus, mekaaninen kestävyys vai toimintavarmuus, asetetaan tärkeämmäksi. Toisaalta rinnakkaisrakenteen toimintavarmuutta voisi olla mahdollista parantaa mallin jatkokehityksellä.

## 6 Yhteenveto ja pohdinta

### 6.1 Tavoitteiden saavuttaminen

Kaikilta osin tuloksena saadut tekniset ratkaisut eivät täyttäneet vaatimusmäärittelyä, etenkin anturin kosteudenkestävyydestä jouduttiin tinkimään. Kuitenkin kuten tuotekehitysprosessissa yleensäkin, kompromissit ovat välttämättömiä. Kun otetaan huomioon tehtävän laatu, tehdyt

kompromissit olivat hyväksyttävissä. Anturiratkaisujen kosteudenkestävyyttä tulisi kuitenkin vielä tutkia käytännön tasolla.

Projektin alkuperäisestä suunnitelmasta jäi toteuttamatta lopullisen prototyypin valmistaminen ja kontaktointi tuotteen potentiaalsiin valmistajatahoihin. Tämä johtui siitä, että opinnäytetyön edetessä älysukkaprojekti päätettiin jättää ainakin toistaiseksi pöytälaatikkoon hautumaan. Päätökseen vaikutti tarkentunut arvio älysukkaidean liiketoimintapotentiaalista ja sekä resurssien puute idean toteuttamiseksi sillä tasolla, että siitä tulisi kannattavaa liiketoimintaa.

Tulokseksi opinnäytetyöstä saatiin kaksi käyttökelpoista ratkaisua haettuun tarkoitukseen, joten opinnäytetyötä voidaan ainakin siltä osin pitää onnistuneena. Toisaalta anturiratkaisujen ja etenkin konkreettisen tekstiili-integraation kehitystä ei saatu aivan vietyä niin pitkälle, kuin alun perin oli tarkoitus. Syynä tähän oli pääasiassa haasteet opinnäytetyön, muiden meneillään olevien opintojen sekä henkilökohtaisten kiireiden aikatauluttamisessa. Kuitenkin saadut tekniset ratkaisut voisivat toimia hyvänä pohjana kyseisenkaltaisen tuotteen jatkokehitykselle ja tuotteistamiselle.

Kuitenkin jos tuotekehitysprojektia jatkettaisiin, olisi tuotteessa käytettävän anturityypin valintaa tarpeen arvioida uudelleen. Tällöin olisi pohdittava mahdollisuutta ulkoistaa anturiteknologian yksityiskohtainen suunnittelu kokonaan alihankkijalle. Esimerkiksi luvussa 2.2.1. (s.9) mainittu Intelligent Textiles voisi tällöin tulla kyseeseen. Eri vaihtoehtojen toteuttamisesta sekä niiden vaatimasta tuotekehityksestä tehtäisiin tällöin kustannusarviot, jotka otettaisiin huomioon älysukan ja etenkin sen antureiden toteutustapaa päätettäessä. Jos lopullisessa tuotteessa käytettäisiin itse ideoitua anturia, tulisi tuotteelle ja etenkin valitulle anturiratkaisulle teettää uutuudenmukaisuusselvitys. Tällöin saataisiin omaa arviota varmemmin selville rikkooko käytetyt tekniset ratkaisut olemassa olevia patenteja ja onko tuotteessa kenties jotain, mikä olisi mahdollista suojata patentoimalla.

## 6.2 Pohdinta opinnäytetyöprosessista

Haastavinta opinnäytetyössä oli työn edetessä vastaaminen kysymykseen ”mitä seuraavaksi tehdään?”. Toisaalta tähän kysymykseen vastaaminen oli myös yksi opinnäytetyön antoisimmista puolista. Antoisaa oli myös uusien teknisten ratkaisujen ideoiminen ja etenkin uusista ideoista innostuminen.

Yllätyksenä tuli se, miten vähän FSR-tyyppisillä antureilla toteutettuja tuotteita on viety kaupallisille markkinoille. Osaltaan tämä varmasti johtuu FSR-anturin rajallisesta mittatarkkuudesta moniin muihin anturiratkaisuihin verrattuna. Olemassa olevien ratkaisujen vähyys asettikin suuria haasteita tekstiili-integraation suunnitteluun. Toisaalta olemassa olevien ratkaisujen haastoi käyttämään omaa luovuutta osana anturiratkaisun löytymistä. Toisaalta monien tuotteiden valmistajat määrittelivät käyttämänsä anturiteknologian yksinkertaisesti ”paineanturiksi” tai ”kangasanturiksi” ottamatta sen tarkemmin kantaa anturin toimintaperiaatteeseen. Tämä hankaloitti käytössä olevien anturiratkaisujen kartoittamista.

Myös monen olemassa olevan ja etenkin vasta markkinoille tulossa olevan tuotteen vasta hakemusvaiheessa olevat patentit vaikeuttivat teknologioiden kartoittamista. Koska patenttihakemuksissa pyritään saamaan patentti kattamaan käytettävät teknologiset ratkaisut mahdollisimman laajasti, ovat patenttihakemukset usein erittäin ympäröityjä ja vaikeaselkoisia. Patentin suojaamat tekniset ratkaisut yleensä tarkentuvat ja patentin laajuus muuttuu yksiselitteisemmäksi (ja yleensä kaventuu), kun patentti hyväksytään.

Kehitettävää työskentelyssä olisi ollut aikataulun tarkempi seuraaminen ja etenkin siitä poiketessa uuden aikataulun ja siihen liittyvän suunnitelman päivittäminen. Lisäksi muita mahdollisia käyttökelpoisia anturiratkaisuja olisi voinut tarkastella laajemmin. Toisaalta anturiratkaisujen rajaaminen pelkkiin FSR-antureihin mahdollisti syvällisemmän perehtymisen käytettävään tekniikkaan sekä luovempien anturiratkaisujen ideoimisen verrattuna siihen, että olisi tutkittu vain olemassa olevia anturiratkaisuja ja valittu niistä sopivin.



## Lähteet

Bremen Technical Datasheet, Shieldex. N.d. Bremenin sähköä johtavan kankaan datalehti. Viitattu 16.4.2015.

[http://statex.de/images/pdf/woven/ShieldexBremen\\_25%2004%2013.pdf](http://statex.de/images/pdf/woven/ShieldexBremen_25%2004%2013.pdf)

Creative materials 118-44 Pressure Variable Resistor Ink Data Sheet. N.d. FSR-musteen datalehti. Viitattu 27.3.2015.

[https://server.creativematerials.com/datasheets/DS\\_118\\_44.pdf](https://server.creativematerials.com/datasheets/DS_118_44.pdf)

Digitize Your World: Look Smart in Intelligent Textiles. n.d. World Intellectual Property Organizationin artikkeli Intelligent Textiles-yhtiöstä. Viitattu 24.5.2015.

<http://www.wipo.int/ipadvantage/en/details.jsp?id=2610>

Handcrafting Textile Sensors from Scratch. N.d. Adafruit-sivuston tietopaketti tekstiilisensoreista. Viitattu 21.4.2015.

<http://www.adafruit.com/datasheets/HandcraftingSensors.pdf>

Heinola, J. 2007. Alytekstiilit ja puettava teknologia. VirtuaaliAMK:n tietopaketin luonnos teknisistä tekstiileistä 7.3.2007. Viitattu 7.5.2015.

<http://www2.amk.fi/digma.fi/eetu/www.amk.fi/opintojaksot/030507/1086702350450/1086705291164/1172832868124/1173266859950.html>

Interlink Electronics FSR Force Sensing Resistors. N.d. Interlink Electronicsin opas FSR-anturien integraatioon. Viitattu 28.4.2015.

[https://www.digikey.com/Web%20Export/Supplier%20Content/InterlinkElectronics\\_1027/PDF/Interlink\\_Electronics\\_Integration\\_Guide.pdf?redirected=1](https://www.digikey.com/Web%20Export/Supplier%20Content/InterlinkElectronics_1027/PDF/Interlink_Electronics_Integration_Guide.pdf?redirected=1)

Interlink Electronics FSR Force Sensing Resistor Integration Guide and Evaluation Parts Catalog. N.d. Interlink Electronicsin ohje FSR-antureista. Viitattu 16.4.2015.

<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Pressure/fsrguide.pdf>

Joustavat saumat. N.d. Punomo.fi-käsityösivuston artikkeli joustavien saumojen ompelemisesta. Viitattu 12.5.2015.

<http://teeitse.punomo.fi/home/sinihovi/saumat/joustavatsaumat1.htm>

Karvonen, T. 2005. Suomen Akatemia sovittaa älyvaatteita. Digitodayn artikkeli älyvaatteista 22.3.2005. Viitattu 19.4.2015.

<http://www.digitoday.fi/viihde/2005/03/22/suomen-akatemia-sovittaa-alyvaatteita/20059527/66/?back>

Karvonen, T. 2006. Älypuku pelastaa arktisissa olosuhteissa. Taloussanomien IT-viikon artikkeli 20.11.2006. Viitattu 20.5.2015.

<http://www.itviikko.fi/teknologia/2006/11/20/lypuku-pelastaa-arktisissa-olosuhteissa/200620996/>

Malmivaara, M. 2009. The emergence of wearable computing. Teoksessa Smart clothes and wearable technology. Toim. J. McCann & D. Bryson. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.

Maman, P., Kanupriya, G. & Jaspal, S. 2012. Role of Biofeedback in Optimizing Psychomotor Performance in Sports. Asian Journal of Sports Medicine. Viitattu 18.5.2015

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3307964/>

Material Properties and Technical Data for 4-mil LINQSTAT Mid-Level Conductive Plastic - 12 in. Roll. N.d. Linqstat-materiaalin datalehti. Viitattu 19.3.2015.

[www.caplinq.com/4-mil-linqstat-mid-level-electrically-volume-conductive-plastic-antistatic-sheeting-12-in.-roll-mvcf-40012bt10ks/2.html](http://www.caplinq.com/4-mil-linqstat-mid-level-electrically-volume-conductive-plastic-antistatic-sheeting-12-in.-roll-mvcf-40012bt10ks/2.html)

Melanson, D. 2013. Gaming the system: Edward Thorp and the wearable computer that beats Vegas. Engadget-verkkosivuston artikkeli Edward Thorpsista. Viitattu 24.3.2015.

<http://www.engadget.com/2013/09/18/edward-thorp-father-of-wearable-computing/>

Sensoria. N.d. Sensoria-yhtiön kotisivut ja tuote-esittely. Viitattu 15.5.2015.

<http://www.sensoriafitness.com/>

Stinson, L. 2014. This smart yarn makes gadget interactions magical.

Wired.comin nettiartikkeli. Viitattu 13.4.2015.

<http://www.wired.com/2014/06/these-knit-sensors-change-the-way-you-interact-with-your-gadgets/>

USD711269 S1. 2014. Electronic sensor interface device and for a charger device. Sensorialle myönnetty patentti fitness-sukan nilkkapannasta sekä sen lataussysteemistä. Viitattu 15.5.2015

[https://www.google.fi/patents/USD711269?dq=inassignee:%22Sensoria+Inc.%22&hl=en&sa=X&ei=9\\_VaVfj9KcKSsgHJwICQDg&ved=0CCYQ6AEwAQ](https://www.google.fi/patents/USD711269?dq=inassignee:%22Sensoria+Inc.%22&hl=en&sa=X&ei=9_VaVfj9KcKSsgHJwICQDg&ved=0CCYQ6AEwAQ)

US7365031 (B2). 2008. Conductive pressure sensitive textile. Intelligent Textilesin kangasanturin patentti Espacenetin patenttitietokannassa. Viitattu 24.5.2015.

<http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?CC=US&NR=7365031B2&KC=B2&FT=D>

Velostat Sheet Stock (Thermoformable). N.d. Velostat-materiaalin datalehti. Viitattu 18.4.2015.

<http://multimedia.3m.com/mws/media/3052400/stock-de-hojas-velostat-termoconformables.PDF?fn=197.PDF>

WO2013116242 A3. 2014. Sensors, interfaces and sensor systems for data collection and integrated remote monitoring of conditions at or near body surfaces. Google-patents patenttitietokannassa oleva Sensorian patenttihakemus koskien anturien, datankeruun ym. muodostamaa systeemiä. Viitattu 15.5.2015.

[https://www.google.fi/patents/WO2013116242A3?cl=en&dq=ininventor:%22Mario+Esposito%22&hl=en&sa=X&ei=DCFXVY\\_1LMSisgGG\\_oGIAg&ved=0CDQQ6AEwAw](https://www.google.fi/patents/WO2013116242A3?cl=en&dq=ininventor:%22Mario+Esposito%22&hl=en&sa=X&ei=DCFXVY_1LMSisgGG_oGIAg&ved=0CDQQ6AEwAw)

## Liitteet

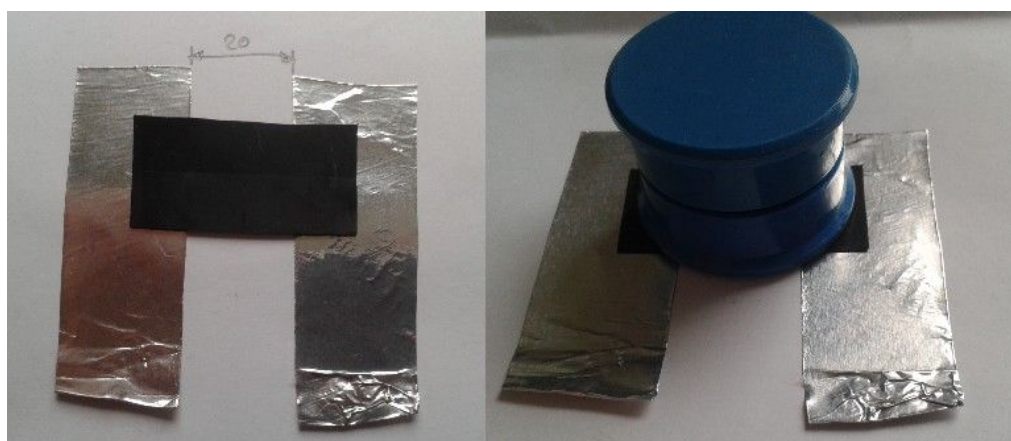
### Liite 1. Velostat-materiaalin konepesun empiirinen arviointi

Pyykinpesun vaikutusta Velostat-materiaalin keskeisimpiin ominaisuuksiin (rakenne, etenkin elastisuus sekä resistanssin muutoskyky) tutkittiin empiirisesti mittaamalla ja arvioimalla Velostat-palan ominaisuuksia ennen ja jälkeen pesukoneessakäynnin.

#### Testiasetus:

40 mm x 20 mm kokoinen Velostat-pala asetettiin kahden 20 mm etäisyydellä toisistaan olevan alumiiniteipistä valmistetun elektrodin väliin oheisessa kuvassa nähtävällä tavalla.

Velostat-palaan kohdistettiin aluksi alkupaine varmistamaan Velostatin ja elektrodien kosketuksen asettamalla sen päälle noin sadan gramman painoinen tasapohjainen, pinta-alaltaan hieman Velostat-palaa suurempi paino. Alumiinielektrodien sisäinen resistanssi arvioitiin häviävän pieneksi verrattuna Velostatin resistanssiin, joten sen vaikutukset mittaukseen jätettiin huomioimatta.



Konepesun empiiristä tutkimista

**Testitulokset:**

Alkupainon kanssa elektrodien väliseksi resistanssiksi mitattiin yleismittarilla noin 30 k $\Omega$ . Painetta lisättiin painamalla voimakkaasti Velostatia tasapohjaista painoa hyväksi käyttäen elektrodeja vasten. Resistanssi saatiin putoamaan noin 12 k $\Omega$  lukemaan.

Pyykinpesukonekäsittely toteutettiin asettamalla Velostat-pala kangaspussin sisässä pesukoneeseen muun tavallisen pyykin sekaan. Pesuohjelman oli perus valko- ja kirjopesu 40 °C lämpötilassa, pesuaineena käytettiin noin 40 ml OMO Color pyykinpesupulveria. Tämän jälkeen suoritettiin pyykille vielä linkous Velostatin mekaanisen rasituksen keston selvittämiseksi. Linkouksen kierrosnopeus oli 800 rpm. Pesuohjelman kesto oli yhteensä 3 tuntia.

Pesuohjelman jälkeen saatiin ominaisuuksiksi seuraavaa:

1. Resistanssi alkupaineella: noin 35 k $\Omega$
2. Resistanssi kuormitettuna: noin 13 k $\Omega$
3. Elastisuuden arviointi: Sama kuin ennen pesua

**Johtopäätökset:**

Yksittäisen mittauksen perusteella Velostatin ominaisuudet eivät merkittävästi muuttuneet konepesussa, resistanssit kasvoivat hieman, mutta aikaisempien FSR-antureihin liittyvien kokemusten perusteella nämä voidaan selittää FSR-antureille ominaisista ryöminnästä sekä hystereesistä johtuvina virheinä. Velostat-materiaalin rajoitukset ja konepesun kesto vaatisivat runsaasti lisätutkimusta, aiheen vaatimaa jatkotestausta ei kuitenkaan käsitellä tässä opinnäytetyössä.